”SAVANŢI DE PRETUTINDENI”

Hllaire Cuny
Heisenberg et la mâcanique quantique
Colecţia "Savanta du monde entier”
Editions Seghers— Paris — 1966

HILAIRE CUNY

Werner Heisenberg şi mecanica cuantică

GO

Bucureşti, 1969
EDITURA ŞTIINŢIFICĂ

- **în româneşte de Ing. Mihai Llvescu**
- **Supracoperta şl coperta colecţiei de Val. Munteanu**

Personalitatea lui Heisenberg

In luna aprilie a anului 1957, între guvernul american şi acela al Republicii Federale a Germaniei se duceau tratative în vederea creării de baze atomice în regiunile din vest ale acestei ţări şi a dotării Bundeswehr-ului cu arme nucleare. Se afirma chiar că unele din aceste arme puteau fi puse la punct de tehnicienii germani, sub controlul savanţilor germani, şi că ele urmau să fie fabricate în uzinele de peste Rin.

La 12 aprilie însă, o telegramă expediată din Berlin, anunţa că optsprezece fizicieni germani publicaseră o declaraţie în care afirmau *solemn* că nici unul din ei nu va lua pante, *indiferent în ce mod,* la construirea, experimentarea şi folosirea armelor atomice.

Printre aceşti optsprezece savanţi figurau patru laureaţi ai Premiului Nobel : Max von Laue, Otto Hahn, Max Born şi, mai cu seamă, sublinia presa franceză, Werner Heisenberg, a cărui filozofie are numeroşi admiratori în Franţa.

Şi totuşi, lui Werner Heisenberg nu-i place de loc „publicitatea". Numai cu foarte multă osteneală am obţinut de la el cîteva informaţii care nu figurează în enciclopedii. El îşi apără viaţa particulară în aceeaşi măsură în care îşi apără independenţa de gîndire, lucru ce îi face toată cinstea. Cu atît mai prost pentru biografi !... Werner Heisenberg nu s-a situat în fruntea vreunei mişcări pentru crearea unui guvern mondial, aşa cum a făcut Einstein, şi nici n-a luat conducerea unui organ de luptă pentru pace, ca Frederic Joliot- Curie. Atunci cînd îşi ridică glasul în dezbaterile contra războiului şi folosirii armelor nucleare, nu o face ca un revoltat, ci ca specialist conştient de datoria lui de a informa.

„Datoria oamenilor de ştiinţă — spune el — este aoeea de a informa în toate amănuntele guvernele lor de distrugerile fără precedent pe oare le-ar provoca un război dus cu arme termonucleare. Totodată însă, oamenilor de ştiinţă li se cere adesea să participe la rezoluţii solemne

pentru pacea mondială. în legătură cu aceasta, trebuie să mărturisesc că n-am putut găsi niciodată vreo rit de mică utilitate declaraţiilor de acest fel. Asemenea rezoluţii pot apărea drept o probă de bunăvoinţă, care trebuie primită cu plăcere, însă oricine vorbeşte în favoarea păcii, fără să precizeze condiţiile acestei păci, este bănuit, prin forţa lucrurilor, că nu vorbeşte decît de acel fel de pace pe care el sau grupul lui îl socoteşte cel mai bun, lucru ce mi se pare lipsit de valoare. Orice declaraţie cinstită, în favoarea păcii, ar trebui să fie urmată de o enumerare a sacrificiilor pe care cei în cauză sint gata să le facă pentru apărarea ei..."

Tinereţea

Wemer Heisenberg s-a născut în vechea cetate universitară a Wurzburg-ului, în luna decembrie a anului 1901, adică în plină euforie a unei Germanii unificate datorită răsunătoarelor victorii ale Prusiei asupra Austriei şi Franţei. Germania de atunci era în plină dezvoltare economică şi financiară. Industria sa grea întrecea, de departe, întreaga industrie a celorlalte ţări europene. Ea era înzestrată de un Kaiser care avea sim- ţământul „grandorii", iar vîntul care sufla printre rîndu- rile tinerimii purta mireasma şovinismului.

Germania de dinaintea acelui război, care urma să fie numit „mare", însă care nu era decît „adolescent", se declara în discursurile ameninţătoare ale împăratului ei drept „pacifistă". Şi Wilhelm al Ilrlea dorea, fără nici o îndoială, dar cu sabia în mină, propria lui pace ! Franţa nu era nici ea mai puţin pacifistă, dacă trecem **6** peste ideile despre „revanşă" care înfloreau în literatura şi în cântecele sale. Şi, de aceea, de o parte şi de alta, la statele majore se pregătea războiul proaspăt şi vesel, care urma să lichideze pentru totdeauna socotelile cu provocatorii de vizavi.

In clipa chemării bilaterale la arme, Wemer Heisenberg avea ceva mai puţin de treisprezece ani, vîrsta entuziasmelor secretate de diencefal, şi desigur că nu tatăl său, August, un profesor de liceu excelent notat, era să fie tocmai acela care să toarne apă rece peste acest patriotism înflăcărat. Datoria impunea

înfrângerea inamicului, iar sloganul *„Gott mit uns“* al militarilor germani promitea victoria pe care adversarul nu o putea spera, cu toate că avea îndrăzneala de a soma pe acelaşi Dumnezeu să salveze Franţa *„au nom du Sacre-Coeur“...*

Nu trebuie să ne îndoim că micul Wemer simţea în el o inimă de erou şi că spera sincer că războiul nu se va sfîrşi fără el !

Studii clasice

în aşteptare, tînărul Heisenberg îşi urma studiile de un pronunţat caracter clasic la Maximilians-Gymnasium din Munchen, unde — dacă nu am ţine seama de teribila încercare a înfrângerii şi de tulburările care au urmat — am fi tentaţi să credem că s-a comportat ca un elev mediocru (nu şi-a luat bacalaureatul decît la vîrsta de nouăsprezece ani, în 1920). Nu împlinise încă optsprezece ani la semnarea armistiţiului, astfel că, pînă la sfârşit, ţinând seama şi de propagandă, se putea spera într-o redresare spectaculară. Wemer nu fusese chemat „sub drapel” şi, ca toţi cei din generaţia lui care suferiseră privaţiunile alimentare, dar care nu cunoscuseră oroarea tranşeelor, era plin de resentimente şi cu sufletul răvăşit.

„Germania a fost trădată, şi nu bătută ; hoarda tnaficanţilor gata la orice josnicie în faţa ocupanţilor va fi alungată, iar Patria îşi va recăpăta strălucirea." N-ar **7** trebui să ne îndoim că acestea erau gândurile lui.

Iată, după Robert Jungk, cum îl descria pe tînărul student Heisenberg unul din amicii săi cei mai intimi :

„Avea aerul unui papă-lapte, mai mare decît era el în realitate. Fiindcă aderase la o mişcare de tineret al cărei ideal îl entuziasma, purta cămăşi cu guler răsfrînt şi pantaloni scurţi. Se credea născut sub o zodie favorabilă şi, de fapt, era norocos".

Werner Heisenberg n-a fost totuşi o simplă rotiţă în maşina istoriei. Apăra părerile care îi fuseseră băgate în cap şi nici pînă astăzi n-a crezut necesar să se elibereze complet de aceste condiţionări. însă el se observa, observa

pe alţii şi discuta atît cu ei, cît şi cu sine însuşi.

O povestire de pe timpul cînd avea optsprezece ani este destul de revelatoare :

„în epoca aceea, Miinchenul era teatrul luptelor revoluţionare. împreună cu alţi colegi de dasă şi de aceeaşi vîrstă cu mine, am fost ataşaţi oa auxiliari unui grup de militari care îşi stabiliseră cartierul la seminar, în faţa universităţii. Fără îndoială că săptămânile acelea în care ne jucam de-a soldaţii, ne susträgeau în mod plăcut de la studiile noastre la Maximilians-Gymnasium. Centrul oraşului era ocupat de comunişti. Pe Ludwigstrasse se trăgeau din cînd î-n cînd focuri de armă, însă fără prea mare pasiune. în fiecare zi, la amiază, ne duceam să ne luăm raţiile de alimente de la bucătăria de campanie din curtea universităţii. Aşa s-a întîmplat că într-o zi am avut cu un student în teologie o convorbire a cărei temă era : *«Lupta aceasta pentru Miinchen are vreun sens oarecare ?».*

Unul din colegii mei afirma cu energie că este imposibil să soluţionezi luarea puterii cu ajutorul mijloacelor intelectuale, al discursurilor şi al proclamaţiilor. Numai forţa, afirma el, poate hotărî.

Seminaristul a răspuns că simplul fapt de a pune în discuţie întrebarea «cine va fi definit drept *noi,* şi cine drept *alţii»* conduce la o soluţie pur intelectuală. Şi el a adăugat că «s-ar *putea cîştiga probabil mult dacă această hotărîre ar fi luată într-un mod mai raţional decît cel obişnuit».*

N-am găsit nimic de obiectat. O dată ce săgeata a părăsit coarda arcului, ea îşi urmează direcţia şi numai **8** o forţă superioară ar putea-o devia. Direcţia ei iniţială este determinată însă numai de acela ce ţinteşte, aşa că fără o fiinţă dotată cu raţiune şi capabilă să ţintească, săgeata s-ar putea să nu Zboare de loc.“

Concluzia lui Heisenberg : *„Nu este inutil ca tineretul să fie învăţat să respecte valorile spirituale".*

Jocul matematic

Intre sîrşitul primului război mondial şi începerea

celui de-al doilea, viaţa lui Werner Heisenberg este strâns legată de munca lui. Loc pentru altceva nu exista. El şi-o rezumă laconic : *„După bacalaureat, am studiat fizica la Miinchen. Profesorii mei erau de primul rang : Sommerfeld, Wien, Pringsheim şi Rosenthal. In semestrul de iarnă 1922—1923, am studiat cu Born, Frank şi Hilbert la Gdttingen şi am obţinut în vara lui 1923, cu Sommerfeld, la Miinchen, gradul de doctor în filozofie. Am devenit apoi asistentul lui Born, la Gdttingen, unde, în 1924, am depus examenul de intrare în învăţămînt. In iama 1924—1925, lucram ca bursier al Fundaţiei Rockefeller, cu Niels Bohr, la Copenhaga. In vara lui 1925 am revenit la Gdttingen, iar în 1926 am fost numit lector la catedra de fizică teoretică de la Copenhaga".*

în acest al treilea deceniu al secolului nostru, într-o Germanie zguduită de cutremure interne, în nebunia unei devalorizări monetare fără precedent în istorie, şi în ciuda tuturor întîmplărilor, el săpa cu perseverenţă şi inteligenţă fundamentele operei sale. Nimeni nu l-a influenţat în domeniul fizicii. îşi dăduse seama devreme de insuficienţele teoriilor existente şi nu era intimidat nici măcar de Bohr, căruia îi fusese prezentat încă din 1921 de către Sommerfeld. *„Iar acest tînăr de nouăsprezece ani* — spunea Jungk — *departe de a se mărgini să asculte cu respect pe marele maestru danez, îşi încrucişa spada cu el în cursul lungilor plimbări spre* **o** *Rohns şi pe Hainberg".*

Primul lui contact cu nevoia de a cunoaşte îşi avea obîrşia în mînuirea „jucăriilor ştiinţifice".

„Cea mai mare parte a copiilor — spune el — fac primii paşi în domeniul tehnicii şi apoi în acel al ştiinţelor, jucîndu-se cu aparate simple. Exemplul colegilor, anumite daruri de Crăciun şi, bineînţeles, învăţămîntul şcolar suscită dorinţa de a pune în funcţiune maşinile şi apoi aceea de a le construi. Lucrul acesta mi s-a în- tîmplat în primii mei cinci ani de şcoală. Toate acestea n-iar fi rămas, fără îndoială, decît un joc şi nu m-ar fi îndemnat să mă îndrept spre ştiinţele naturii, dacă un eveniment suplimentar nu mi-ar fi «catalizat» vocaţia. La şcoală, ni se predau rudimente de geometrie. E o materie care mi se părea foarte aridă : triunghiurile şi dreptunghiurile stîmesc

imaginaţia tinerilor mult mai puţin decît vederea florilor sau decît poemele... însă, dintr-o dată, din ouvintele excelentului nostru profesor de matematici, dl. Wolff, mi-a venit ideea că ar fi posibil să supunem aceste figuri unor axiome generale, că în figurile geometrice am putea nu numai să citim şi să recunoaştem anumite rezultate, ci să le şi demonstrăm matematic".

Ideea că matematicile se puteau adapta unor obiecte ale experienţei percepute prin simţuri, „la ceva ce se vede", i se părea, după propriile lui cuvinte, „remarcabilă şi pasionantă".

„Mi s-a întâmplat ceva ce se^ntîmplă destul de rar unui şcolar : vroiam să-mi îmbogăţesc eu însumi bunul intelectual ce mi se dăruia în clasă. De obicei, învăţămîntul se desfăşoară destul de monoton : imaginile lumii şi ale spiritului defilează în mintea noastră, fără să ne pătrundă cu adevărat. Totuşi, după aptitudinile celui care predă, aceste imagini pot fi impregnate de o lumină mai mult sau mai puţin vie, astfel că memoria le reţine cîteodată un anumit interval de timp. în unele cazuri rare, un obiect sau un eveniment intrat în cîmpul pencepţiei poate chiar luci în propria lui lumină, la început neclar, în inconştient, apoi mai puternic, apărînd la nivelul conştiinţei, înainte de a invada progresiv gîndirea şi de a se comunica şi altor obiecte, pentru a 10 ajunge să ocupe în sfârşit un loc important în viaţa subiectului gînditor.“

Lucrul acesta i s-a întâmplat tînărului Werner. El a înţeles deodată că *„matematicile se acordă cu lucrurile experienţei noastre".*

„După cum am aflat la şcoală, grecii antichităţii şi, în special, Pitagora şi Euclid, posedau deja această cunoaştere, pe care eu credeam că am descoperit-o ; lucrul acesta însă nu mi-a micşorat zelul cel nou, ci, din contră, mi l-a întărit. Stimulat de oursurile d-lui Wolff, îmi încercam singur puterile ou matematici mai înalte decît cele pe care ni le preda el. Găseam că jocul de a le acorda cu percepţiile mele imediate era mai pasionant decît oricare din jocurile la care se dedau colegii mei.“

Apoi nu i-a mai fost de ajuns nici geometria clasică : „Ea devenise un cîmp de acţiune prea strimt pentru jocul acesta, care îmi procura atîta plăcere. Cîteva lec-

turi mă învăţaseră deja că, în domeniul mecanicii, matematicile sînt capabile să controleze funcţionarea maşinilor. Le puteam deci aplica comportării aparatelor pe care le construiam eu însumi. în aurind mi-am procurat cîteva lucrări din colecţia Goschen, precum şi alte manuale elementare, pentru a studia matematicile care mi se păreau necesare ca să formulez legile fizice a căror întrebuinţare o întrevedeam, în primul rînd calculul diferenţial şi integral."

Legile gravitaţiei ale lui Newton şi lucrările lui Maxwell i-au apărut atunci „ca o *continuare imediată a ceea ce filozofii şi matematicienii greci încercaseră să realizeze".*

„Aş putea spune chiar că descoperirile celor din antichitate şi descoperirile modeme mi-au apărut de o identitate perfectă. Ideea că lumea ştiinţelor naturii şi a tehnicii din timpul meu ar putea să se deosebească fundamental de aceea a timpurilor trecute nici nu-mi trecea prin cap. De fapt, fără ca să-mi dau seama în tinereasca mea nevinovăţie, plăcerea pe care mi-o procura descrierea matematică a naturii mă condusese spre una din trăsăturile fundamentale ale gîndirii occidentale, şi anume la legătura dintre modul de a stabili 11 un principiu şi acţiunea practică. Matematicile constituie

un Limbaj cu ajutorul căruia o problemă poate fi atît pusă, cit şi rezolvată. De obicei, problema se referă la un caz practic şi material : geometria a fost inventată ca să servească la măsurarea pămînturilor arabile".

Werner Heisenberg precizează că în timpul studiilor sale, a fost atras ani întregi în special de matematici, şi în paguba observaţiei directe, fie că era vorba de contactul ou natura înconjurătoare, fie chiar de construcţia diverselor aparate de care se ocupa.

..De-abia în cursul ultimilor doi ani de liceu — spune el — balanţa s-a aplecat din nou în favoarea fizicii".

Contra uşurinţei

Această „redeşteptare spre fizică" a lui Heisenberg s-a produs în urma unei ciocniri dintre logică şi ideea pe care o avea el — oarecum în felul pitagoricienilor — despre armonia cosmică.

„Ne foloseam, explică el, de un excelent manual de fizică clasică, care trata teoriile născute o dată cu noul secol, desigur intr-un mod foarte rudimentar. Şi totuşi, ultimele pagini pomeneau despre atomi. Din nefericire, autorul fusese de acord să i se ilustreze textul. Am păstrat amintirea foarte vie a unei figuri formate din- tr-un număr destul de mare de aşa-zişi «atomi», care avea probabil scopul să arate starea unui gaz La scara constituţiei lui corpusculare. Se vedeau deci grupe de molecule formate, fiecare din ele, dintr-un număr mic de «atomi», legaţi foarte curios unii de alţii prin copci şi capse. Textul spunea că, după părerea gînditorilor greci, atomii reprezentau particulele cele mai mici şi deci *indivizibile* ale materiei *(a~tomos* în greceşte înseamnă indivizibil).

Or, din descoperirile lui Becquerel, ale soţilor Curie, precum şi din lucrările lui Rutherford, se ştia deja că atomul este «un sistem de particule». Indiferent oare ar fi fost realitatea, era cu totul exclus ca atomii să se unească între ei ca nişte piese de lenjerie feminină...

M-am indignat — spune Heisenberg — văzînd etalate intr-un manual de fizică, de altfel destul de complet, asemenea prostii. Bineînţeles că nu ştiam încă nimic despre teoriile recente, însă îmi spuneam că dacă atomii constituiau cu adevărat obiecte semănînd ou cele din figură, de o formă aşa de complicată şi prevăzuţi cu copci şi capse, nu era posibil ca ei să fie, *în acelaşi timp,* cele mai mici părţi «indivizibile» ale materiei".

Întîmplarea a vrut ca el să întâlnească, (pe timpul acela, în mişoarea de tineret în cadrul căreia milita, pe un alt student pasionat de fizică şi care *încerca şi el să înţeleagă.* Era mai în vîrstă şi, de asemenea, mai bine documentat. Citise mai multe studii privind atomismul lui Leucip şi Democrit, teoria lui Epicur şi neuitatul poem în proză *De rerum natura* al lui Luoreţiu. Ceva mai mult, acest prieten era posesorul unui adevărat manual de fizică modernă : *Structura atomului şi liniile spectrale,* de Sommerfeld, în care figurile arătau atomul sub forma lui „planetară", oare se impunea atunci. Contratriantele copci şi capse dispăruseră cu totul.

„Acest nou prieten — spune Heisenberg — îşi exprima totuşi părerea că fizica atomică era eronată, în totalitatea ei. Raţionamentele noastre erau pe atunci mai categorice şi mai rapide ca astăzi... în ceea ce mă privea, credeam doar că figurile ou atomi olar desenaţi sînt în mod necesar false, şi-1 acuzam pur şi simplu pe desenator..."

O întîmplare neprevăzută avea să-i întărească dorinţa de a-şi orienta activităţile sale de adult spre cunoaşterea fenomenelor naturii. Grupul de militari auxiliari, contrarevoluţionari, din oare făcea parte, nu era supus unei discipline prea severe. Muncile brute erau îndeplinite de către soldaţi, ceea ce le lăsa tinerilor studenţi anumite intervale de răgaz.

„Ceva mai mult — ne destăinuie Heisenberg, nu fără satisfacţie retrospectivă — eram obligaţi să facem permanent serviciu de noapte, astfel că toate zilele noastre se scurgeau în voioşie, liberi de orice control din

 partea

părinţilor şi al profesorilor".

Intîlnire cu Plafon

Cu toate că tînărul Werner iubea libenbatea, nu-i plăcea decît în mică măsură să-şi irosească vremea, iar dacă binecuvînta timpul liber, o făcea mai cu seamă fiindcă îi permitea să se cultive fără nici o consitrîngere, după capriciile fanteziei lui.

„Vara lui 1919 — spune el — a fost foarte caldă, în primele ore ale dimineţii, nu eram Obligaţi practic să facem nici un fel de serviciu. Mi se întâmpla atunci să mă refugiez adesea, încă de la răsăritul soarelui, pe acoperişul seminarului în care eram cantonaţi, ca să mă lungesc pe streaşină, în tovărăşia unei cărţi, şi să mă încălzesc la soare. Mă aşezam de asemenea pe marginea acoperişului, ca să privesc cum se deşteaptă viaţa în Ludwigstrasse. O dată mi«a venit ideea să iau cu mine pe acoperiş o carte de Plafon, iar dorinţa de a citi şi altceva decît ceea ce ni se impunea în colegiu m«a făcut să dau peste dialogul *Timaios.* Traducerea corespundea modestelor mele cunoştinţe de limbă greacă. Această lectură mi-a limpezit ideile asupra originii teoriilor atomice. Socoteam că am înţeles cauzele profunde care i-au făcut pe gânditorii antichităţii să creadă în existenţa unor *«pietre de construcţie, infinitezimale şi indivizibile, ale materiei».* Este adevărat că teza platoniciană din dialogul *Timaios,* după care atomii sînt «corpuri adevărate»-, nu mi se părea absolut evidentă, şi nici argumentele autorului de o claritate perfectă. Totuşi, Platon nu vorbea de copci şi de capse, astfel că eram satisfăcut.

Din această epocă — precizează el — datează convingerea mea că e *imposibil să te ocupi de fizică atomică, fără să cunoşti filozofia greacă.*

Socoteam că desenatorul faimoasei gravuri cu atomi prevăzuţi cu copci şi capse, din manualul meu, ar fi fost bine inspirat dacă l«ar fi citit mai înainte pe Platon".

Din acel timp tînărul Werner căpătă convingerea că materialismul celor antici n-avea nimic comun cu materialismul mecanicist, aşa de înfloritor în secolul ai XIX- lea, cînd omul de ştiinţă credea că a rezolvat *definitiv* enigmele universului. în acest sens — şi mai adesea de-

cît o crede — Wemer Heisenberg este în perfectă comuniune de idei cu campionii *actuali* ai materialismului. Vom găsi în cuprinsul acestei cărţi mai multe exemple despre această apropiere de idei.

Sâ vezi tu însuti

Spontan, elevul de liceu Heisenberg trecuse de partea „ordinii". Mereu patriot — fiindcă Heisenberg este şi va rămîne un patriot — studentul Wemer a fost mai circumspect. Va spune mai tîrziu :

„înfrângerea făcuse să nască în noi, tinerii, o neîncredere profundă în idealurile pentru care fusese dus şi pierdut războiul. Cuvintele mari care proclamau aceste idealuri ni se păreau acuma cu totul goale. Gîndeam că aveam dreptul să controlăm noi înşine ceea ce mergea, sau nu mergea în această ţară şi în lume. Pentru noi nu se mai punea problema de a cere în acest scop părerea părinţilor sau profesorilor noştri. Eram câţiva gata să transpunem această poziţie în domeniul ştiinţelor".

Avea acum ca profesor pe autorul acelui prim „manual adevărat de fizică ■ atomică" pe care prietenul lui din mişcarea de tineret îl ajutase să-l cunoască, pe Arnold Sommerfeld, una din somităţile noii discipline. Nimeni nu era mai bine calificat ca el. Competenţa lui era dublată de remarcabilele sale calităţi pedagogice.

Prima întîlnire a lui Wemer Heisenberg cu acela pe care urma să-1 numească mai tîrziu *„bătrînul meu magistru Sommerfeld"* (care nu avea pe atunci decît 52 de ani) este povestită astfel, pe scurt, de autorul german Helmut Cari :

„în *primăvara lui 1920, un candidat la bacalaureat al Liceului «Maximilian», a venit să-l vadă pe consilierul secret Sommerfeld la institut, declarîndu-i că voia să studieze fizica teoretică. Sommerfeld îi răspunse că urma să se vadă mai tîrziu ce va fi de făcut, că trebuia să studieze mai întîi fizica generală şi că specializarea va veni* **15** *după aceea. Candidatul la bacalaureat îi răspunse că n-avea nici o poftă să facă experienţe şi că nu-l interesau de fapt decît fizica teoretică, teoria ondulatorie şi în special matematicUe. Cu toate că Sommerfeld era şi el un matematician pur şi nu*

făcuse niciodată fizică experimentală, găsi pretenţiile tînărului său interlocutor destul de surprinzătoare. Totuşi, cu titlu de încercare, îi permise să participe la seminarul său, începînd cu primul semestru".

La Sommerfeld, lucrările se îndreptau în esenţă asupra structurii atomului şi asupra liniilor spectrale, cu scopul de a se obţine cîteva precizări matematice în legătură cu modelul de atom propus de Bohr, care, spune Cari, *„deşi permitea multe enunţuri juste în legătură cu fenomenele învelişului electronic, era totuşi fals".*

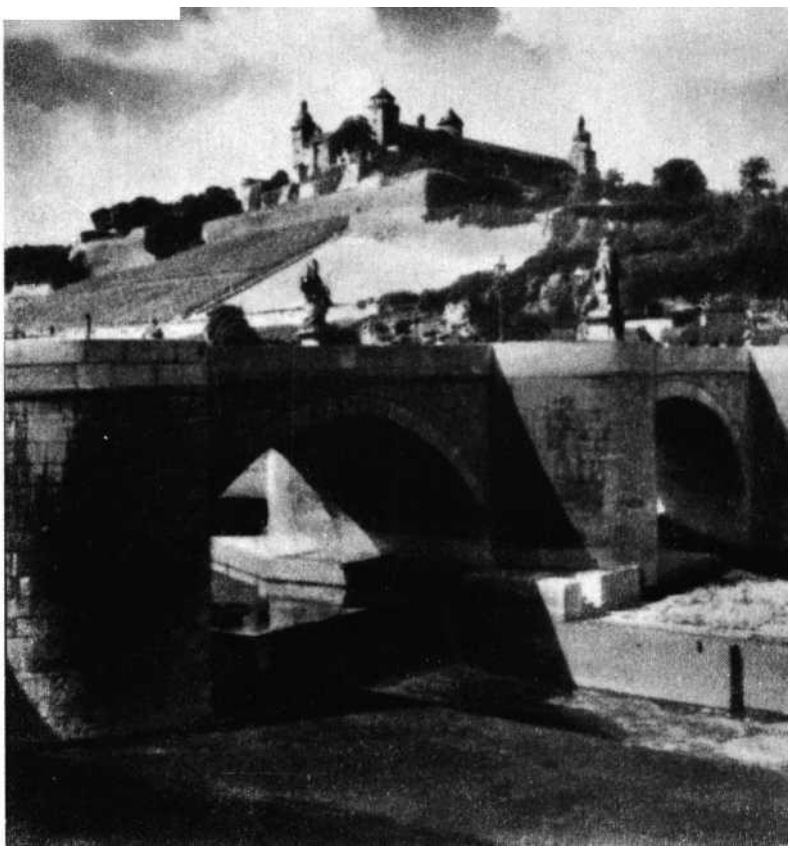
Făcîndu-şi într-un fel „autocritica", Bohr însuşi spune : *„Era clar, că după principiile fizicii clasice, nici o configuraţie de particule electrizate nu putea să aibă stabilitatea necesară ca să explice proprietăţile fizice şi chimice ale atomilor. In special, conform principiilor elec- trodinamicii clasice, orice mişcare a electronilor în jurul atomului trebuia să producă o radiaţie continuă de energie, ceea ce implica o contracţie rapidă a sistemului, pînă cînd electronii s-ar fi unit cu nucleul, formînd o particulă neutră cu o dimensiune infinit de mică în comparaţie cu dimensiunea care ar fi trebuit atribuită atomului"* [1].

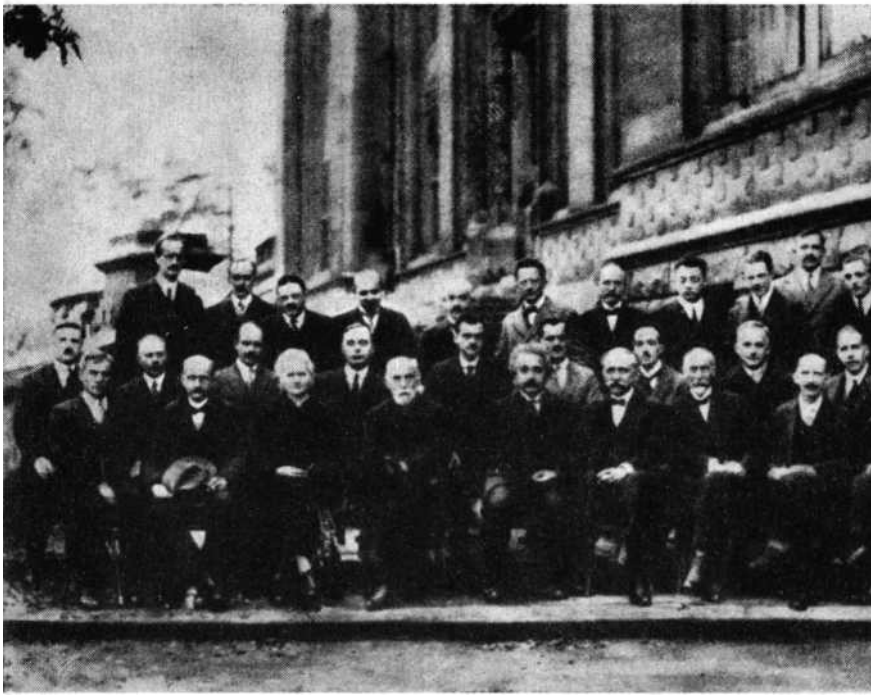
Din cauză că lucrurile nu se întîmplau aşa, şi pentru că în realitate structura atomului se menţinea constantă, însemna că exista „ceva" care putea să explice fenomenul, şi tocmai acest „ceva" era căutat la Sommerfeld.

„La fiecare curs — spune Heisenberg — simţeam că-mi creşte interesul. Expunerile pline de limpezime ale lui Sommerfeld mă stimulau în aceeaşi măsură în care mă încîntau".

Cu acest ritm de muncă nu-i trebuiră decît şase semestre pentru ca să-şi ia doctoratul la vîrsta de 23 de ani.

Physique atomique et *connaissance humaine,* p. 139. **1**





2. Consiliul de fizică din 1927 (Bruxelles),

în fotografie, de la stînga la dreapta şi de jos în sus:
I. Langmuir, M, Planck, M. Curie, H. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, Ch. E. Guye, C. T. R. Wilson, Ow. Richardson.
P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg. H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H, Compton, L. de Broglie. M. Born, N. Bohr.
A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, td. Herzen. Th. de Donder, E. Schrddicger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin.

Şi, cu toate acestea, acela care discutase cu Bohr de la egal la egal, cu ocazia primei lor întâlniri amintite mai sus, nu era decât un novice. însă Bohr, a cărui modestie era tot atât de legendară ca şi bunăvoinţa lui, nu se arăta de loc contrariat, ci dimpotrivă. într-adevăr, în cursul lungilor şi fructuoaselor întrevederi pe care le-au avut, Bohr îl ajuta pe tînăr să-şi argumenteze criticile.

Ne face plăcere să subliniem această atitudine mult prea rară a unui magistru faţă de elevul lui. Nu numai că Bohr, savant internaţional respectat, admitea criticile studentului Heisenberg, dar le şi provoca.

Ceva mai mult, el a făcut tot ce i-a stat în putinţă ca să înlesnească înfocatului său contrazicător o carieră care promitea să fie strălucitoare. Datorită intervenţiilor lui Bohr, Heisenberg a obţinut o bursă Rockefeller pentru Copenhaga, în 1925, şi tot Bohr a fost acela care în anul următor a făcut ca acelaşi Heisenberg să fie chemat în capitala daneză, de data aceasta în calitate de „lector de fizică teoretică''.

O vacanţă pe Heligoland

Pare ciudat ca Platon, un guturai de fin şi insula Heligoland să fie asociate cu numele lui Heisenberg, atunci când este vorba de descoperirea primelor principii care trebuiau să conducă la elaborarea teoriilor cuantice.

Autorii nu sînt cu totul de acord dacă guturaiul a fost contractat pe insula Heligoland, în decursul vacanţei de Rusalii din anul 1925, sau dacă gravitatea excepţională a guturaiului de fîn a motivat cele cîteva zile de convalescenţă pe aceeaşi insulă. *„Acolo* — scrie Jordan — *Wemer Heisenberg escalada stîncile roşii şi citea* Divanul *lui Goethe, meditând asupra ideilor sale intr-un fel de beţie intelectuală. Cred că în timpul acestei preafericite vacanţe de Rusalii, aproape că n-a dormit“.*

Această insomnie nu era provocată numai de Platon şi de Goethe, ci mai degrabă de anumite teorii mate-

matice foarte surprinzătoare, din care se putea deduce,

în linii mari, că „varză verde” şi „verde varză” pot să nu aibă întotdeauna acelaşi înţeles...

înainte de plecarea lui de la Gdttingen spre Heligoland, Heisenberg înmînase unuia dintre profesorii lui, Max Born. o lucrare bazată pe aceste teorii. Se înţelege deci că era nerăbdător să cunoască părerea acestuia din urmă şi că din cauza asta nu dormea. Dacă la aceasta mai adăugăm şi guturaiul...

Born se lăsase însă imediat convins şi, fără să mai aştepte altceva, trimisese manuscrisul spre publicare la „Revista de fizică”. Apoi se pusese pe lucru, tot în aceeaşi problemă, împreună cu Pascual Jordan, un altul dintre tinerii săi asistenţi.

„Regula înmulţirii a lui Heisenberg nu-mi dădea pace" — spunea Born. îşi aduse însă aminte la timp de o teorie algebrică care se dovedea a fi un instrument de primul ordin pentru interpretarea acestei reguli. *„Eram emoţionat* — ne asigură el — *ca un navigator care, după ce a rătăcit o vreme îndelungată pe mări, crezîndu-se pierdut, zăreşte în sfârşit pământul. Singurul lucru pe care-l regretam era că Heisenberg nu era şi el de faţă“.*

Din cauză că şederea pe insula Heligoland se prelungea, o corespondenţă se stabili între Born şi Jordan, pe de o parte, şi Heisenberg pe de altă parte, corespondenţă care avu drept rezultat redactarea unei lucrări semnate cu trei nume. Chiar dacă această lucrare n^a avut în sinul marelui public răsunetul teoriei relativităţii a lui Einstein, ea i-a zgudit pe specialişti aproape tot atîta, dacă nu şi mai mult.

Gloria internaţională

Urmînd alte căi decît echipa germană, Paul Dirac încerca şi ei, în Anglia, să rezolve problema fizicii cuantice. El se alinie în curind de partea germanilor, făcând să evolueze într-un mod semnificativ mecanica cuantică. Ideile lui au fost adoptate de Louis de Broglie, iar ceva mai tîrziu şi de fizicianul sovietic Landau.

In toamna anului 1927, Heisenberg a fost numit profesor titular de fizică teoretică la Leipzig. N-avea

decît 26 de ani şi părea că este frate cu studenţii, din ce în ce mai numeroşi, care îi urmau cu pasiune cursurile. Era chemat în toate părţile. în 1929 a întreprins un vast şi fructuos turneu de conferinţe în S.U.A. In acelaşi an, i s-a acordat la New York „Barnard Medal“, după care a obţinut în Italia medalia „Matteuci", iar în Germania medalia ,,Plank“.

înainte de a se reîntoarce, în 1931, în S.U.A., a fost invitat în Japonia, apoi în India. Cea mai mare parte a marilor aaademii i-au deschis porţile, atît în Germania cit şi în străinătate. în sfîrşit, i-a fost acordată pe bună dreptate recompensa internaţională supremă : Premiul Nobel pentru fizică pe anul 1932. în anul următor a plecat la Stockholm, ca să-l primească din mîinile regelui Suediei. Era în 1933, cînd Hindenburg, sub presiunea evenimentelor, îl chemase tocmai la putere pe Hitler.

Heisenberg contra nazismului

în admirabila sa operă *Siluirea mulţimilor prin propaganda politică,* profesorul Serghei Ceahotin a analizat perfect mecanismul operaţiei preluării puterii de către Hitler : spaima senilă a lui Hindenburg, isteria colectivă a unui -popor umilit de prăbuşirea armatelor sale, pretinse invincibile, şi batjocorit de guverne incapabile.

Wemer Heisenberg nu putea fi, din principiu, ostil noii tendinţe. Fusese crescut într-un climat de patriotism şi de naţionalism. Ne aducem aminte că se bătuse la Miinchen contra comuniştilor. Or, cam în acelaşi timp, Adolf Hitler se manifesta pentru prima dată politic, in- trînd în conflict cu comitetele de soldaţi.

Fenomenul Hitler nu are nimic surprinzător dacă ne reamintim de sfîrşitul primului război mondial şi de începuturile perioadei dintre cele două războaie în Germania. înaltul comandament german nu şi-a recunoscut niciodată înfrângerea, pe care a imputat-o „forţelor de stînga". Mizeria, afacerile murdare, jignirile suferite din partea trupelor de ocupaţie (mi-aduc într-una aminte că l-am auzit, cam prin 1925, pe un ofiţer francez lăudîn- du-se că plesnise cu cravaşa „mutra" unui industriaş german, care nu voia să-i satisfacă pretenţiile), multiplele stîngăcii ale exaliaţilor transformaseră încetul cu încetul veleităţile individualiste ale tineretului într-o revoltă mocnită contra incuriei. De altminteri, întregul popor german iubeşte în general ordinea (ceea ce îl distinge sau îl distingea altădată de poporul francez), după -cum tot în general (şi lucrul acesta îi este reproşat de poporul

francez), este stupid de sensibil la parăzile militare. De aceea, fiind atât din înclinaţie, cît şi din necesitate psihologică contra tratatelor, el nu putea să fie, în întregimea lui, decît favorabil naţional-socialismului, de la care aştepta dreptatea în exterior şi belşugul în interior. Se ştie că după criza din 1929 (care a urmat unei perioade de cinci ani de prosperitate industrială excepţională), Hitler a avut 107 reprezentanţi în Reichstag, pentru ca, în 1932, cu ajutorul burghezilor nemulţumiţi şi al şomerilor, să-şi ridice de peste două ori această cifră. Hitler era mult mai abil decît se crede de această parte a Rinului *, astfel că, din cauză că prefera să anexeze fără război teritoriile la care rîvnea, se pricepu să arate conservatorilor din Germania că era în primul rînd *naţionalist,* şi în al doilea rînd socialist. Programul său social era, de altminteri, îndeajuns de concret ca să atragă de partea lui masele care nu-i cunoşteau planurile secrete. Voi continua să susţin mereu că ansamblul aceluia ce este denumit în mod convenţional „poporul", nu ştia de cîmpurile de concentrare, *aşa cum erau ele, în înspăi- mîntătoarea lor realitate.* în Franţa ocupată, în afară de cîţiva iniţiaţi care nu bănuiau totuşi amploarea fenomenului, fiindcă numai cei ce l-au trăit l-au cunoscut cu adevărat, nimeni nu era informat despre aceste grozăvii. Ura faţă de ocupant era alimentată mai mult de lipsurile alimentare decît de privaţiunile de libertate, şi chiar execuţiile prin împuşcare a ostaticilor îi lăsau indiferenţi pe destul de mulţi dintre compatrioţii noştri.

Chiar dacă Heisenberg nu a luptat *de la început* împotriva lui Hitler (devenit pentru majoritatea germanilor simbolul reînnoirii unei ţări vechi lovite de o presupusă „trădare", care aducea asigurarea unei „redresări" pe plan economic şi promitea revizuirea „nedreptului tratat de la Trianon" pe plan extern), evenimentele l-au obligat să ia rapid o poziţie.

[1] Adică în Franţa. *N.R*

Patriot, dar nu şovinist

Deşi patriot, lui Heisenberg îi repugnă şovinismul. L-am văzut colaborând, încă foarte tînăr, cu Dinac, apoi, şi mai strâns, cu Bohr. In timp ce îşi punea la punct aparatul matematic care ina consacrat teza, Heisenberg a declarat că faptul că contribuţiile la calculul matricial se datorau unui englez, unui danez, sau unui german (lui însuşi sau lui Jordan) avea puţină importanţă. „Singurul lucru care importă este doar descoperirea adevărului. Nu există o ştiinţă «germană», «engleză» sau «daneză», ci numai ipoteze care se dovedesc adevărate sau false şi care sînt acceptate nu din cauza naţionalităţii autorului lor, ci pentru că au, sau nu au, o valoare ştiinţifică".

Acesta este, în linii mari cel puţin, sensul uneia din declaraţiile sale reproduse de Joachim G. Leithaiiser, excelentul biograf pe care însuşi Heisenberg ni l-a recomandat drept sunsă de inspiraţie.

Din clipa în care i s-a atribuit Premiul Nobel, cea mai înaltă recompensă internaţională, pe care el spunea cu îndrăzneală că o apreciază la justa ei valoare, Heisenberg şi-a atras dorinţa de răzbunare a conducătorilor nazişti. Pentru un bun german, tot ce era excelent şi de valoare nu putea veni decît din Germania, şi el trebuia să-şi bage în cap acest lucru. Johannes Stark, prezidentul lui Physikalischtechnische Reichsanstalt, a intervenit ca Heisenberg să nu ocupe catedra de fizică rămasă liberă la Universitatea din Miinchen prin plecarea lui Sommerfeld, catedră care îi revenea, ca să spunem aşa, „de drept", şi care îi fusese atribuită, de altminteri, de senatul universităţii pe baza unui aviz foarte favorabil al decanului.

Stark, fizician cu o îndelungată experienţă, laureat al Premiului Nobel pentru fizică din 1919, forma, împreună cu Philip Lenard [I], de asemenea laureat al Pre-

I Asupra lui 'Lenard se poate consulta lucrarea lui J. N i- c o 11, *Rontgen,* colecţia „Savants du monde entier", Seghers, 1965.

miului Nobel pentru fizică din 1905, nucleul oponenţilor ireductibili ai teoriilor lui Einstein. Atunci cînd naziştii au început să-d atace pe evrei, cei doi s-au socotit imediat aliaţii celor dintâi şi nu au ezitat să transpună în mod deliberat opoziţia ştiinţifică pe plan politic. Au îndrăznit să scrie — aceşti doi savanţi — că relativitatea „nu *era altceva decît un bluf evreesc".* Nu fără o oarecare candoare, ei considerau că orice alt argument era de prisos. Continuînd pe această cale, au decretat existenţa unei *„fizici evreieşti"* adică a acelei fizici care se baza pe lucrările lui Einstein şi Bohr, iar toţi fizicienii ale căror publicaţii făceau vreo menţiune referitoare fie la relativitate, fie la cuante, (adică toţi fizicienii de o oarecare valoare, în afară de ei înşişi), deveniră *„evrei prin spirit".* Printre aceştia era, firește, pe primul loc, Heisenberg, care nu-şi ascundea admiraţia pentru relativitatea „evreului Einstein" (cu toate controversele care îl opuseseră lui Einstein la Congresul Solvay din 1927) şi care obţinuse Premiul Nobel pentru realizări de care nu era străin „evreul Bohr"...

Jungk spune despre Stark : *„Personaj palavragiu, acest fondator al unei «fizici germane» nebuloase nu-i ierta lui Sommerfeld* (pe care-1 ataca în mod indirect prin Heisenberg, precizăm noi) *de a-i fi criticat obiectiv lucrările şi de a-l fi numit în glumă «Giovanni Fortissimo». Această poreclă, inventată mai întîi de Einstein, urma să rămână legată de persoana acestui agitator zgomotos".* De fapt, „personajul palavragiu" se răzbuna, cu întârziere, pentru că fusese dat afară din Universitate pentru motivul că nu-şi respectase cuvîntul dat : folosise suma de bani primită ca Premiu Nobel ca să-şi cumpere o fabrică, lucru strict interzis de statutele acestui premiu.

Silit să facă joc dublu

Departe de a căuta o apropiere diplomatică de stăpînii zilei, Heisenberg îşi preciză cu energie poziţia la prima ocazie care i-a fost oferită de a vorbi în faţa unui

auditoriu suficient de reprezentativ. In ziua de 17 septembrie 1934, la Hanovra, el a declarat plin de curaj — fiindcă persecuţiile începuseră să ia o amploare neliniştitoare — că înţelegea să-şi menţină poziţiile teoretice *„cîteodată deformate de situaţia în care se află astăzi gîndirea germană”.* Ceva mai mult, el se solidarizează ferm cu Albert Einstein[II] în ceea ce priveşte relativitatea restrînsă şi relativitatea generalizată, susţinînd că criticile lansate contra acestor două teorii nu aveau nici o consistenţă şi că argumentele folosite în Germania erau cu totul false.

Desigur că, la fel cu majoritatea intelectualilor, Heisenberg nu-şi dădea pe atunci seama exact de riscurile la care se expunea. Nu ştia că o bandă de parveniţi îşi dădeau toată osteneala ca să-1 denunţe drept *„evreul de rasă albă al ştiinţei."* Un anume doctor Roskothen, profesor de liceu, îi scria ministrului Rosenberg : *„Un asemenea om (Heisenberg) este el demn să aibă o catedră la o universitate germană* ? După părerea *mea, ar fi bine să-i dăm ocazia să scrie un panegiric al evreilor Michelson şi Einstein într-un loc unde ar putea să-şi regăsească pe cei deopotrivă cu el : într-un cîmp de concentrare. Motivul acestei internări ar fi limpede : trădare contra rasei".*

Fapt curios, răspunsul lui Rosenberg a fost regăsit, firins cu un bold, la copia acestei acuzaţii pline de ură. n rezumat, autorul lucrării *Mitul secolului XX* (publicată în 1930, care îl consacră drept teoretician al nazismului) „regreta” că nu putea acţiona cu severitatea de dorit contra lui Heisenberg, fiindcă, „din nenorocire”, străinătatea avea ochii îndreptaţi asupra lui...

în schimb, în jurnalul S.S.-ului, „Schwarze Korps”, o pagină întreagă era consacrată injuriilor oontra lui Heisenberg şi încercării de a distruge fundamentele teoriei sale, fără să se folosească de altminteri măcar un singur element de apreciere prezentînd cea mai mică valoare sau cea mai redusă seriozitate. Era numit, cu o

II Se va putea citi, în aceeaşi colecţie, lucrarea noastră *Albert Einstein şi relativitatea.*

I emfază care provoacă acuma rîsul, „un *Ossietzky al fizicii".*

Karl von Ossietzky, care urma să primească Premiul Nobel pentru pace, în 1935, cu trei ani înainte de a muri, era cu adevărat „spaima" naziştilor, fiindcă propovăduia dezarmarea totală şi chiar unilaterală a Germaniei şi denunţa cu curaj pregătirea formaţiilor militare secrete. Fiindcă îl atacase încă din primii ani de la luarea puterii pe Hitler şi bandele sale armate, Ossietzky cunoştea, de un an deja, cîmpul de concentrare.

Este posibil că Wemer Heisenberg ar fi urmat să sufere aceeaşi soartă, fără intervenţia mamei sale pe lîngă faimosul Himmler, de sinistră amintire. Fizicianul americano-olandez Goudsichmidt a găsit după război în dosarul Heisenberg, de la arhivele secrete, o scrisoare a Reichsfuhrer-ului, în care recomanda ca *„profesorul Heisenberg să nu fie ucis".*

Pentru a răspunde rugăminţilor îngrijoratei sale mame, autorul *Principiului incertitudinii* caută să nu se mai vorbească de el. Era însă posibil să facă aşa ceva, atunci cînd asista la nedreptăţile cele mai flagrante ? El îşi înfrînă totuşi pornirile, nu atîta din cauză că-i era frică pentru persoana lui, ci fiindcă revolta individuală nu era de loc „rentabilă" : însemna privarea imediată de libertate, dacă nu şi altceva mai rău, iar lucrul acesta însemna că sacrificiul n-ar fi fost cunoscut decît de un grup restrîns de indivizi, convinşi dinainte, astfel că n-ar fi avut nici un efect asupra maselor.

Pe de altă parte, Heisenberg nu dorea nici să emigreze. Nu vroia să-şi părăsească patria germană, aşa cum Joliot-Curie n-a vrut să-şi părăsească patria franceză în timpul ocupaţiei. Cum obţinuse într-un mod cu totul excepţional autorizaţia de a pleca în America pentru o a treia serie de conferinţe, profesorul Pegram, decanul lui Physics Department al Universităţii din Columbia, **25** îl îndemnă cu toată tăria să imite pe o mulţime dintre

confraţii săi europeni, ca, de exemplu, pe Fermi \ şi să rămînă în America pînă la înfrângerea dictaturii. *„Heisenberg crezu* — scrie Jungk — că *este de datoria lui să refuze, fiindcă nu putea părăsi, fără nici un sprijin, pe «bravii fizicieni tineri» (acestea au fost propriile-i cuvinte) care îi erau încredinţaţi. Convins că Hitler trebuia să piardă războiul, care nu putea întârzia să izbucnească, el voia totuşi să rămînă în Germania ca să asiste la catastrofă, şi ea previzibilă, şi să ajute la salvarea a ceea ce mai putea fi salvat".*

Războiul şi bomba atomică

Acela care demonstrase că atomul nu este indivizibil şi care reuşise prima transmutaţie a materiei (azotul în oxigen), adică lordul Rutherford, a murit în 1937, convins că omul nu va reuşi niciodată să utilizeze formidabila energie inclusă în nucleul atomului. Germanul Wal- ter Nerst era cu mult mai puţin categoric, însă nu credea că generaţiile noastre vor fi capabile să elibereze energia denumită încă de pe atunci „atomică". El afirma : *„Trăim pe o insulă de fulmicoton, însă slavă Domnului că n-am găsit încă chibritul cu care să dăm foc explozivului".*

Din contră, alţi fizicieni, şi în special experimentatorii, erau convinşi că eliberarea energiei nucleare era apropiată şi socoteau că chibritul a fost găsit.

Era o situaţie destul de înspăimîntătoare pentru o lume aflată virtual în război. Chiar dacă nu se ştia încă cum trebuiau fabricate explozivele „atomice", se cunoştea însă că aceste explozive pot avea o putere de distrugere „colosală". De fapt, nu se ştia încă totul. îngrozitoarea primejdie pe care o reprezenta radioactivitatea pentru ţesuturile vii nu era încă cunoscută. Cel puţin trei echipe se apropiau de ţel în 1938 : echipa italiană

[1] Asupra lui Fenmi se poaite vedea lucrarea lui P i e r r e de L a t i 1, *Fermi,* colecţia „Savants du monde entier", Seghens, 1964 (traducerea românească a acestei lucrări a apărut în Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1965. — *N.R.).*

cu Enrico Fermi, echipa germană ou Otto Hahn şi Lise Meitner şi echipa franceză a lui Joliat-Curie, la care urmau să se alăture în curînld doi oameni fugiţi de opresiunea nazistă, şi anume germanul Hans von Halban şi polonezul Lew Kowarski.

Enrico Fermi, care din punct de vedere tehnic era, fără îndoială, mai avansat, fiindcă descoperise acţiunea neutronilor lenţi în întreţinerea unei reacţii în lanţ — cu toate că de fapt Frederic Joliot-Curie şi tovarăşii săi au fost aceia oare au luat primul brevet pentru realizarea a ceea ce urma să se cheme mai tîrziu o „pilă atomică" — profitase de recepţia care a avut loc la Stockholm pentru sărbătorirea Premiului Nobel pe anul 1938 ce i se acordase, pentru a întoarce spatele lui Mus- solini şi hoardelor sale fasciste. Fermi urma să întâlnească în S.U.A. alţi emigranţi europeni de valoare, şi anume pe maghiarii Leo Szilard şi Edward Teller. In preajma războiului din 1939—1945 existau deoi trei echipe capabile să realizeze un dispozitiv atomic : grupul american, grupul german şi grupul francez.

Acest din urmă grup părea să fie cel mai avansat. Teoretic, reacţia în lanţ era realizată (aceasta înseamnă că s-ar fi obţinut un reactor, dar nu o bombă), însă oxidul de uraniu de care dispunea Jdiot era un material care se găsea cu foarte mare greutate. Laboratoarele Germaniei şi cele ale S.U.A. nu erau nici ele mai bine aprovizionate, însă germanii urmau să aibă posibilitatea de a dispune de minele din Boemia, iar aliaţii de bogatele rezerve ale Congoului (pe atunci belgian) şi ale Canadei. Mai lipseau totuşi încă multe pentru ca aceste grupuri să fie omogene. De fapt, nici nu se putea vorbi serios de „grupul american" pe vremea aceea, fiindcă fizicienii din S.U.A. erau răspîndiţi pe la diferite universităţi şi chiar dacă fiecare din ei se gîndea poate la bombă, nici unul nu avea mijloacele — şi adesea nici dorinţa — de a lucra la ea. Din contră, în Germania, unde totul era etatizat, bomba ar fi trebuit să poată fi realizată de ansamblul fizicienilor, care erau, ca să zicem aşa, „funcţionarizaţi".

Asta era cel puţin părerea emigranţilor, care, deoa-

 rece cunoscuseră teroarea nazistă şi fugiseră de ea, inter-

pretau cu îngrijorare evenimentele din Europa : *„Pentru cei cîţiva fizicieni care se gîndeau la posibilitatea unei bombe cu uraniu* — spune Jungk — părea *evident că Hitler trebuia să aibă în mînă un atu secret : fisiunea atomului. Ca singur posesor al bombei atomice, Hitler, cu toate slăbiciunile sale economice, ar fi fost de neînvins şi capabil să aducă în stare de sclavie întreaga lume".*

Se ştie că acesta a fost motivul pentru oare Einstein, la stăruinţele lui Szilard, a scris lui Roosevelt faimoasa scrisoare, care urma să reprezinte punctul de plecare pentru „Proiectul Manhattan“, al cărui rezultat, datorit celor mai gigantice eforturi financiare şi industriale pe care le-au cunoscut oamenii într-un timp aşa de scurt, a fost atacul contra oraşelor Hiroshima şi Nagasaki, ordonat de Truman şi de Pentagon, deşi aceste tragedii ar fi putut fi evitate. Să ne reamintim oroarea lui Einstein şi exclamaţia sa : *„Dacă aş fi ştiut că naziştii nu aveau bomba, n-aş fi mişcat nici degetul cel mic”.*

Dacă Hitler nu a avut bomba, nu a fost din cauză că n-ar fi avut fizicieni *capabili* să i-o construiască. Un grup german, coordonat ca şi grupul american, ar fi fost *în stare* să construiască o bombă, chiar după plecarea elementelor excepţionale alungate de dorinţa de răzbunare şi de opresiunea nazistă. Reichul a înfăptuit şi alte *„miracole"* decît acela de a extrage şi de a rafina uraniul într-un timp record, iar ceea ce au făcut americanii ar fi putut s-o facă şi germanii. Acest grup nu s-a cristalizat însă fiindcă elementele lui cele mai reprezentative, şi, după toate aparenţele, în primul rînd Heisenberg, nu au vrut.

Atunci cînd s-a creat în Germania o comisie de studiu, nici von Laue şi nici Otto Hahn, n^au fost chemaţi. Primul, bazîndu-se pe vîrsta şi pe trecutul său, critica deschis nazismul şi n-ar fi acceptat să participe. Cel de-al doilea, lipsit de asistenta sa, Lise Meitner — care nu-şi datora salvarea decît unei fugi rapide şi care descoperise fisiunea — a fost înlăturat sub pretext că era chimist. El era socotit puţin sigur, şi aceasta pe bună dreptate fiindcă, auzind de reuniunea comitetului de pregătire, se afirmă că exclamase : *„Fizicieni, n-o să vă*

apucaţi doar să fabricaţi o bombă cu uraniu! Dacă Hitler ajunge să posede o armă ca aceasta, eu mă sinucid".

Să nu trădezi

în cursul acestei prime reuniuni, se pare că cuvintul de ordine a fost acela de a se calma exaltaţii. Heisenberg şi majoritatea pe care o conducea făcuseră să se accepte ca autorităţile să fie informate doar că se va putea, *probabil,* ca într-o zi să se folosească fisiunea *„în domeniul propulsiei".* El însuşi rămînea totuşi convins că explozia era posibilă. întâlnindu-l (cu ocazia unei conferinţe în Copenhaga ocupată de nazişti) pe Bohr, care afirma că va trece multă vreme pînă cînd se va putea elibera energia atomică, Heisenberg s-a străduit să-i demonstreze contrariul, asigurîndu-1 că bomba *„era realizabilă într-un viitor apropiat".* Aceste vorbe nu însemnau nimic altceva decît ceea ce comunicau, anume că Heisenberg credea posibilă realizarea unei bombe, şi nu că el lucra la o asemenea bombă, sau că ar fi dorit-o chiar. însă Bohr era sensibil faţă de tot ce era german. Am cunoscut cu toţii acest sentiment, aşa că prietenul de ieri care venea în uniformă într-o ţară ocupată nu era, desigur, binevenit. Ceva mai mult, Bohr îşi aduse dintr-o dată aminte de tînărul aderent la mişcarea de tineret şi de faptul că nazismul nu devenise posibil decît datorită exaltării celor tineri şi pasivităţii celor maturi. Fostul lui asistent îi era cel puţin suspect şi de aceea îl primi cu reticenţă şi răceală.

Heisenberg, pe de altă parte, continua să rămînă mult prea legat de patrie, pentru a nu se gîndi că ar fi însemnat s-o trădeze încredinţînd un secret, *chiar negativ,* privind apărarea Germaniei, unui străin ale cărui relaţii cu Anglia, adică cu *inamicul,* le cunoştea, chiar dacă acest străin i-ar fi rămas încă foarte drag. *El nu putea* să-i spună lui Bohr : *„Nu lucrăm în Germania la realizarea unei bombe atomice. Comunicaţi acest lucru* ***29*** *confraţilor noştri, pentru ca să nu dăruiască nici ei aliaţilor bomba".*

Voia ca Bohr să înţeleagă asta. *Voia* acest lucru şi asta însemna, dacă ţinem seama de formaţia lui, aproape un fel de trădare. N-ar fi putut merge mai departe de această concesie făcută reflexelor psihologice căpătate în tinereţe.

Era, desigur, dispus să lupte contra lui Hitler, contra nazismului, dar în nici un caz împotriva Germaniei.

Weizsăcker a spus că maestrul său, Heisenberg, *„era dintre aceia care deşi resimţeau pînă în adîncul sufletului lor terorile provocate de nazism şi cinismul afişat la intrarea în război, nu puteau totuşi dori nici victoria, nici prăbuşirea ţării lor, cu teribilele lor consecinţe"*[1]. Mai tîrziu, Heisenberg însuşi a declarat că ştiuse întotdeauna *„că războiul era pentru Germania ca ultima fază a unei partide de şah în care aceasta ar fi avut o tură mai puţin decît adversarul ei".* Această tură era reprezentată de potenţialul industrial al aliaţilor şi de ansamblul forţelor economice de care ei puteau să dispună. Nu era bomba atomică. Heisenberg spera în mod sincer că nimeni nu va poseda acest atu. Nu-1 voia pentru nazişti, dar spera că nici aliaţii nu se vor putea servi de el contra nefericitei lui ţări. Dacă Bohr înţelegea, totul ar fi putut fi, poate, salvat.

Bohr însă a fost doar defavorabil impresionat de declaraţia lui Heisenberg că construcţia unei bombe părea de domeniul posibilităţilor. Jungk afirmă că *„el ascultă, fără să-i dea o reală atenţie, restul cuvîntării lui Heisenberg, în care savantul punea în discuţie valoarea morală a bombei atomice. Atunci cind acesta din urmă se despărţi de profesorul danez, avu impresia, care se dovedi mai tîrziu adevărată, că nu a făcut altceva decît să agraveze situaţia. Neîncrederea lui Bohr faţă de fizicienii rămaşi în Germania hitleristă nu fusese micşorată de vizita fostului său elev. Din contră, căpătase convingerea că ei lucrau cu zel şi succes la o bombă cu uraniu".*

Această lipsă de înţelegere a hotărît poate soarta mai multor generaţii, fără să mai punem la socoteală consecinţele ei directe. Este sigur că dacă atunci cînd s-a produs declamaţia de război *şi ând nici un guvern nu* **30**

era la curent cu posibilităţile tehnice noi ale ştiinţei, nişte oameni ca Einstein, Joliot-Curie, Blackett, Heisenberg, Fermi, Kapitza şi alte cîteva personalităţi internaţionale, din domeniul fizicii s-ar fi declarat pentru păs-

trarea secretului, antrenând pe toţi colegii lor, omenirea n-ar fi fost înzestrată cu acele instrumente ale apocalipsului, pe care le cunoaştem.

„Poate că ar fi trebuit să constituim, o asociaţie internaţională dispunînd de puteri disciplinare asupra tuturor membrilor ei“, a scris Weizsäcker. Mai modest, Heisenberg a spus : *„In vara anului 1939, doisprezece oameni ar mai fi putut încă, printr-o convenţie comună, să împiedice construcţia bombelor atomice”.*

Prizonier al anglo-americanilor

„La sfirşitul războiului am fost făcut prizonier de trupele americane, împreună cu alţi cîţiva fizicieni atomişti, şi trimis în Anglia".

Astfel prezintă Heisenberg capturarea sa. N-a vrut să spună mai mult, însă se ghiceşte că a fost ţinta multor acuzaţii la care, din mîndrie sau din cauza neputinţei cuvintelor de a exprima în nişte împrejurări aşa de deosebite adevărul, el n-a înţeles să răspundă. Cum să-i explici cuiva că a face o alegere fără echivoc în Germania nazistă era ceva cu totul deosebit de o luare de poziţie intr-o democraţie, oricît de imperfectă ar fi fost ea ?

Cum să explici lucrul acesta unor englezi pentru care libertatea individuală este un lucru sfînt, sau unor americani care nu cunoscuseră încă la ei acasă stupida „vînă- toare de vrăjitoare" ? Aşa cum l-au bănuit pe Heisenberg, l-au bănuit şi pe Joliot-Curie.

Şi unul şi altul au trebuit să facă anumite concesii care n-au nimic comun ou „jocul dublu" al unui Petain. De altfel, istoria le-a făcut între timp dreptate.

Mai târziu, Heisenberg a scris : *„Intr-o dictatură nu poate exista o rezistenţă activă decît din partea celora ce dau impresia că sînt partizanii sistemului. Acela care* 31 *ia public poziţie contra regimului se privează prin însuşi faptul acesta de toate posibilităţile de a face o rezistenţă eficace : sau se mulţumeşte cu critici întîm- plătoare şi inofensive, astfel că influenţa lui politică este redusă la zero sau, în cazul cînd, încearcă să provoace o mişcare de opinie, de exemplu printre studenţi, eşuează fără întîrziere*

într-un timp de concentrare. In cazul acesta, sacrificiul vieţii lui rămîne practic necunoscut, fiindcă nimeni nu are dreptul să mai vorbească de el".

Funcţionarii aliaţi oare îl interogau la Londra nnar fi putut să intre în asemenea consideraţii şi, de altfel, le venea mult mai uşor să acuze.

A fost acuzat chiar şi în Germania, unde rezistenţa activă a fost totuşi faptul unei minorităţi ! în general, eroii mor din cauza îndrăznelii lor, iar Heisenberg nu s-a pretins niciodată erou, ci din contră :

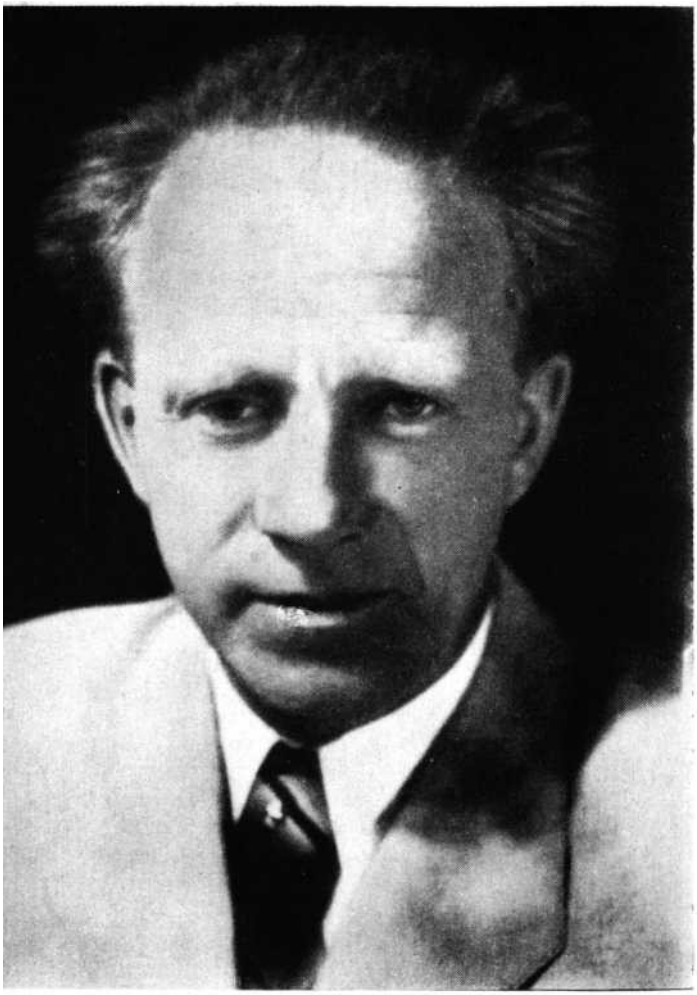
„Oamenii de la 20 iulie — a scris el — *m-au făcut să simt cea mai mare ruşine. Au opus o rezistenţă adevărată, cu sacrificiul vieţii lor. Insă exemplul lor dovedeşte că orice opoziţie eficace implică o simpatie pre- jăcută pentru puterea stabilită".*

Aceşti „oameni de la 20 iulie" sînt militarii care, în 1944, atunci cînd se confirma că debarcarea aliată reprezenta un succes, au încercat să se debaraseze de acela pe care până atunci îl urmaseră ca pe un învingător. Reproşul lor nu era că Hitler declanşase grozăvia, ci acela că pierdea.

Un muncitor asiduu şi un savant modest

Heisenberg n-a fost eliberat de englezi decât în primăvara anului 1946. Imediat după repatriere, el a organizat, împreună cu cîţiva din foştii lui colaboratori, Institutul „Kaiser-Wilhelm", care a luat numele de Institutul „Max Planck". Instalat la început la Gottingen, acest centru de cercetări a fost mutat apoi la Miinchen, in clădiri noi, echipate cu material modem. *„Am venit să mă stabilesc acolo împreună cu întregul personal al institutului în vara anului 1958* — mi-a scris foarte simplu Heisenberg. — *Principalul meu domeniu de*

3. Werner Heisenberg la 25 de ani.



4. Werner Heisenberg în 1942.

muncă este nucleul atomului, pentru studiul teoriei particulelor elementare. Secţia noastră experimentală se ocupă de mai mulţi ani cu fizica plasmelor şi cu controlul reacţiilor termonucleare".

Este un sector destinat exclusiv utilizării paşnice a reacţiilor de fuziune.

Dar chiar dacă R. F. a Germaniei ar avea bomba nucleară, putem fi convinşi că Werner Heisenberg n-a participat la elaborarea ei. Mai întîi, fiindcă construcţia unei bombe nu mai este de acum înainte decît o chestiune de tehnică, şi, în al doilea rînd, *fiindcă el şi-a interzis o dată pentru totdeauna s-o facă,* aşa cum am văzut de la primele pagini ale acestei cărţi, luînd această poziţie atît pentru confraţii lui, cît şi pentru el însuşi :

Nimeni dintre noi nu va participa, în indiferent ce mod, la construcţia, experimentarea şi folosirea armelor atomice.

Heisenberg nu e un om care-şi calcă cuvîntul şi, desigur, nu e nici un ambiţios : *autobiografia* lui nici nu menţionează lucrările sale despre *cîmpul unificat,* asupra căruia vom reveni în capitolul următor. întrebat la Congresul Nobel, care s-a ţinut la Lindau la sfîrşitul lunii iunie 1959, despre importanţa ecuaţiei care avea să-i aducă un val de popularitate în presa mondială la începutul anului 1958, el a răspuns cu modestie :

„Calculele mele, pe care le-am făcut împreună cu Pauli, sint foarte încurajatoare în sensul unei explicaţii matematice posibile a influenţelor reciproce pe care le exercită, una asupra alteia, particulele nucleare. Totuşi, ultimul cuvint nu a fost spus încă, astfel că noi cercetări sînt necesare ca să se ajungă la ţel".

Wemer Heisenberg nu pierde nici o clipă din vedere acest ţel. Aceasta nu-1 împiedică însă să se intereseze de problemele vieţii de fiecare zi şi, în special, de soarta celor tineri. De soarta lui proprie nu se interesează de loc, astfel că Joachim G. Leithaiiser a mers pînă acolo încît să vorbească, din acest punct de vedere, de o „nepăsare juvenilă". Cîteodată se aşază la orgă şi cîntă cu virtuozitate o fugă de Bach : acesta este încă un fel **33** ai lui de a comunica cu natura.

Fizica atomică modernă

Definiţia clasică a termenului „fizică" este următoarea : *ştiinţa care are drept obiect studiul proprietăţilor generale ale corpurilor, precum şi studiul legilor care tind să modifice starea sau mişcarea acestor corpuri, fără să le modifice natura.* Fizica se deosebeşte deci esenţial de chimie, care se ocupă de *studiul transformării corpurilor în alte corpuri, diferite prin natura şi aranjamentul atomilor.* Cu toarte că se vorbeşte în prezent de fizică şi de chimie nucleară, trebuie să admitem că, în domeniul nucleului atomic, fizica şi chimia sînt strâns legate prin însuşi faptul că un efect eminamente fizic (şi numai fizic) poate duce la transformarea (faimoasa *transmutaţie,* scumpă alchimiştilor medievali) unui element în alt element. Intr-adevăr, dacă reuşim să introducem o nouă particulă elementară în nucleul unui anumit element sau să extragem una din particulele constitutive ale nucleului unui anumit element, transmutaţia se realizează. Chiar şi aurul este susceptibil (cel puţin teoretic deocamdată) să fie obţinut din metale mai „ordinare". Mi se pare că s-a reuşit chiar să se facă „un pic" de aur din mercur, iar în laboratoare se poate vedea în fiecare zi cum oxigenul, de exemplu, se transformă în azot etc.

Teoria atomică simplă — aşa cum a fost dedusă de Avogadro din lucrările predecesorilor săi şi în care atomul nu mai era acela al gînditorilor antici — nu lăsa să se prevadă transmutaţia. Heisenberg s-a străduit să scrie o dare de seamă deosebit de dară a teoriilor fizice, din care am reprodus în capitolul „Texte alese" de la

finele cărţii, partea care se extinde de la Tales din secolul al Vl-lea î.e.n., pînă în secolul al XlX-lea, cînd s-a înţeles că electricitatea este legată de materie şi că totul se petrece ca şi rând ar exista un „atom de electricitate": *electronul.*

Pînă în acest din urmă secol, atomul era privit încă, după etimologia lui, drept *a-tomos,* adică indivizibil. Primele îndoieli s-au ivit o dată cu descoperirea de către Henri Becquerel a radioactivităţii naturale, descoperire care a fost confirmată de lucrările lui Pierre şi Mărie Curie. în 1900, în fine, William Orookes a realizat o experienţă care urma să-i conducă pe Rutherford şi pe Soddy la descoperirea primei legi a radioactivităţii.

Cei doi fizicieni britanici au scos în evidenţă faptul că radiaţiile emise de corpurile radioactive pot fi de trei feluri :

a) radiaţia « *(alfa),* care se comportă ca şi rând ar fi încărcată cu electricitate cu semnul + (pozitiv) ; b) radiaţia 3 *(beta),* care se comportă ca şi rând ar fi încărcată cu electricitate ou semnul — (negativ) ; radiaţia y *(gamma),* care se comportă „neutru" din punct de vedere electric (nu este deviată în cîmpurile electroenergetice).

Rutherford a arătat că numai radiaţia *y* (adică cea de-a treia radiaţie) este o „adevărată" rază, şi că celelalte două sînt fluxuri de particule. Pseudoradiaţia a este constituită din nuclee de heliu, iar radiaţia 3 din electroni. S-a înţeles atunci că atomul nu este „partea ultimă şi indivizibilă" a materiei, ci doar *cea mai mică parte a unui element, care, luată izolat, are toate proprietăţile acestui element.* Atomul, aşa cum îl concepem astăzi şi aşa cum apare în experienţele noastre, este *un sistem de particule interschimbabile de la un element la un alt element.*

înainte ca Rutherford şi Bohr să fi prezentat schema devenită clasică a atomului, au fost propuse diferite structuri, în special de către Jean Perrin, însă singura din ele care trebuie reţinută, *într-o primă aproximaţie.* este aceea a atomului planetar, constituit dintr-un nucleu încărcat cu electricitate pozitivă şi din *electroni* încărcaţi cu electricitate negativă, care compensează **35** foarte exact (în atomul ideal) sarcina nucleului şi realizează

neutralitatea electrică a ansamblului atomic. Ceea ce trebuie reţinut în mod special este diferenţa fundamentală care există între acest atom, *ca sistem de particule,* şi atomul celor din vechime, ca *masă inertă şi care nu poate fi descompusă.* în concepţia despre atomul aşa cum ni-1 arată experienţa, şi nu numai „aşa cum îl concepem noi", a fost introdusă noţiunea de „spaţiu vid" (între particule) şi aceea de mişcare a particulelor. Evident că într-o masă compactă nu poate fi concepută o mişcare. De fapt, conform formulei consacrate prin vulgarizare, *„atomul este făcut mai mult din vid",* aşa cum sistemul nostru solar este compus, în esenţă, tot din vid, avînd la centru, prin analogie cu nucleul, enormul Soare, în jurul căruia gravitează, prin analogie cu electronii, toate micile planete. în realitate, analogia este extrem de grosolană şi nu rezistă unui examen, chiar superficial. Calculul arată că aproape totalitatea masei unui atom este reprezentată numai de nucleu, în timp ce masa electronilor este cu totul neînsemnată. Ţinînd seama de dimensiunile unui atom „complet" în raport cu nucleul său (spaţiul ocupat de nucleu este foarte mic în comparaţie cu spaţiul total în care evoluează electronii), precum şi de faptul că materia, *care deşi nu este formată decît din atomi,* este totuşi ceva foarte compact, sîntem forţaţi să admitem că vidul atomului *este umplut de mişcarea electronilor* în jurul nucleului lor.

Reluînd o imagine de vulgarizare extremă, care a mai fost folosită în lucrările precedente, să ne închipuim o elice de avion cu patru pale, mai întîi în stare de repaus şi apoi învîrtindu-se cu toată viteza. Vidul dintre pale ar fi vidul atomului, care se „umple" din momentul în care elicea începe să se învîrtească. Bineînţeles că vidul nu dispare de loc : un proiectil suficient de rapid poate trece foarte bine printre palele care se învîrtesc cu foarte mare viteză, fără să le atingă. Cam aşa ceva a făcut, în esenţă, fizicianul Lenard atunci cînd a folosit electronii rapizi oa să demonstreze că atomul nu este compact, şi, bazîndu-se pe experienţele acestui fizician, Rutherford şi-a prezentat primul său „atom planetar".

Pentru a ne face o idee despre raporturile de mărime din interiorul atomului, să ni-1 închipuim mărit la nişte **36.** proporţii uriaşe. Iată-1 ajuns, în totalitatea lui, la un dia-

metru de 10 cm, ceea ce ar însemna că electronul cel mai îndepărtat de nucleu să graviteze la 5 cm de centrul atomului, care ar fi de asemenea şi centrul nucleului. Nucleul însuşi nu ar avea, în acest caz, decît un diametru de o sutime de milimetru. Aceste cifre arată cit de imens este vidul atomului în comparaţie cu spaţiul ocupat *de materie.* Să adăugăm, cu titlu indicativ, pentru a face şi un alt gen de comparaţie, că ar trebui „aliniaţi“ 10 milioane de atomi de hidrogen pentru a se obţine o lungime de 1 mm şi că pe o lungime egală cu diametrul unui atom ar putea fi „aliniate" 100 000 de nuclee...

Atomul nu este indivizibil

Primii teoreticieni transpuseseră, ca să zicem aşa, calitatea de indivizibilitate a atomului, la nucleul acestuia, considerat pe atunci, la rîndul lui, ca „indivizibil[11]. Această supoziţie nu a mai corespuns însă în curînd rezultatelor experimentale, astfel că oamenii de ştiinţă s-au văzut obligaţi să admită că şi nucleul este un *sistem de particule* care sînt permanent în mişcare, într-un fel de oscilaţie, potrivit unor anumite norme. S-a ajuns să se-nţeleagă că în nucleu există tot atâtea particule încărcate cu electricitate pozitivă *(protoni),* cîţi electroni (încărcaţi cu electricitate negativă) se rotesc în jurul nucleului. Cum, după legea lui Coulomb, sarcinile contrare se atrag (în timp ce sarcinile de acelaşi fel se resping), electronii ar „cădea" pe nucleu (adică s-ar uni cu protonii), dacă n-ar fi animaţi de o viteză proprie, care să compenseze atracţia electrostatică pe care o resimt protonii şi electronii unii pentru alţii.

Să semnalăm în treacăt analogia care există în acest caz cu forţa gravifică : Luna ar „cădea" pe Pământ (ar fi atrasă ireversibil de Pământ, apoi acesta de Soare etc.) dacă viteza ei de rotaţie nu ar compensa exact atracţia reciprocă a celor două mase.

Numărul de revoluţii făcute de unicul electron al atomului de hidrogen, în jurul protonului unic, care re

prezintă nucleul acestui atom (nucleul atomului de hidrogen este protonul tuturor atomilor) este de ordinul a 6 milioane de miliarde pe secundă. Ou cit atomul este mai greu, adică cu cât elementul pe care îl reprezintă include mai mulţi protoni în nucleul lui (şi deci mai mulţi electroni sateliţi în jurul acestui nucleu, echivalenţa protoni-electroni realizând neutralitatea electrică a ansamblului atomic), cu atât miai puternică este atracţia dintre protoni şi electroni şi deci mai mare energia cinetică a electronului considerat. Un electron din prima pătură a unui atom va vibra cu atât mai aproape de nucleu şi cu atît mai rapid, cu cît va face parte dintr-un atom mai greu. La atomii din păturile următoare viteza de rotaţie a electronilor scade, pe măsură ce creşte distanţa faţă de nucleu.

Un atom de uraniu — cu nucleul lui constituit din 92 de protoni (plus 146 de neutroni la izotopul 238), în jurul căruia se rotesc 92 de electroni sateliţi — are, ce-i drept, un diametru ceva mai mare decît atomul de hidrogen. Ceea ce creşte însă foarte mult atunci când se trece de la un atom uşor la un atom greu este *densitatea* materiei în raport cu spaţiul ocupat de atom, fapt care se reflectă în densitatea elementului considerat.

Cuanta de acţiune

în atom, electronii se repartizează în jurul nucleului pe „nivele cuantice".

în anul 1900, ca urmare a unor observaţii precise, Max Planck a ajuns să descopere că lumina este rezultatul unui mecanism de oscilaţie a atomilor care nu se dezvoltă într-un mod progresiv şi continuu, ci, din contră, prin „salturi

succesive", adică după un proces discontinuu, care începe cu absorbţia de către atom a unei anumite cantităţi de energie. *„Radiaţia* — enunţa el — *trebuie emisă sau absorbită prin «porţii», sau cuante".*

Aceasta înseamnă că nu se poate produce o emisie sau o absorbţie de radiaţie sub o valoare minimă, care depinde de specificul fiecărei radiaţii : energia de oscilaţie a atomilor nu poate avea deci decît această valoare, sau un multiplu întreg al ei.

El a arătat că energia cuantei poate fi măsurată cu ajutorul formulei :

$$E = hv,$$

în care E este energia ; v (niu, din alfabetul grec) — frecvenţa radiaţiei, iar *h* — o mărime convenţională, denumită „constanta lui iPllanck", care este egală cu 6,62 x IO^{-27} ergi/s.

Această formulă ne arată că pe măsură ce creşte frecvenţa radiaţiei electromagnetice, absorbită sau emisă de materie, creşte şi energia purtată de fiecare cuantă. Dacă energia cuantei creşte, lungimea de undă scade.

Planck nu pomenise însă nimic în legătură cu compoziţia radiaţiei luminoase. Oamenii de ştiinţă rămăseseră încă la noţiunea de undă suportată de „eter" (Fresnel, Young, Maxwell). Or, Lenaîd tocmai arătase că atunci cînd o rază de lumină loveşte suprafaţa unui metal, lucru care (ştim astăzi) provoacă smulgerea unor electroni, energia cu care sînt ejectaţi electronii (folosim noţiunea modernă pentru a simplifica lucrurile) nu depinde de *intensitatea* razelor luminoase, ci numai de culoarea, lor, adică *de frecvenţa* radiaţiei. Putem spune că oricare ar fi distanţa la cane se află sursa luminoasă în raport cu obiectul bombardat de radiaţie, electronii sînt smulşi cu aceeaşi viteză, dar că numărul smulgerilor scade pe măsură ce distanţa creşte. Din contra, viteza electronilor smulşi va fi mai mare, atunci cînd este vorba de lumina violetă (lungimi scurte de undă, deci frecvenţe înalte), decât atunci cînd avem de-a face cu lumina roşie (lungimi mari de undă, deci frecvenţe joase).

Efectul fotoelectric

în 1905, Einstein a sugerat că legile efectului fotoelectric indică existenţa unei structuri discontinue a luminii, legată de cuanta de acţiune. El a admis deci, a *priori* că orice radiaţie monoaramatiică este împărţită în

„boabe" a căror energie este proporţională cu frecvenţa, constanta de proporţionalitate fiind cea a lui Planck.

Începînd cu acest an deci, fenomenele observate în „efectul fotoelectric" puteau fi interpretate raţional. Atunci cind un electron, făcînd parte dintr-un atom al materiei care primeşte energia luminoasă,, este lovit de o radiaţie, el absoarbe energia unui „bob", a unei cuante, sau a unui *foton,* cum urma să fie denumit mai tîr- ziu „bobul de lumină". Această cuantă de energie este ceea ce „împinge", ca să spunem aşa, electronul în afara materiei în care este *„închis"* în stare stabilă (efectul îl are însă numai o cuantă, sau un multiplu de cuante, şi nu o energie mai slabă decît a unei cuante, iar o energie ceva mai mare decît a unei cuante nu acţionează diferit).

Electronul expulzat prin acţiunea luminii va poseda, teoretic, o energie cinetică egală cu energia fotonului absorbit, de fapt micşorată cu „lucrul mecanic" necesar pentru expulzarea lui din materie. Această energie cinetică va fi „o *funcţie liniară de frecvenţa radiaţiei incidente"* (L. de Broglie), iar coeficientul unghiular al dreptei care o reprezintă în raport cu frecvenţa este egal, numeric, cu constanta lui Planck.

Toate previziunile lui Einstein au fost confirmate de experienţă. Dacă se variază frecvenţa luminii incidente, se constată că efectul fotoelectric se produce numai atunci cînd frecvenţa este superioară unei anumite valori, *pragul fotoelectric.* în domeniul de frecvenţă în care are loc efectul, energia cinetică a electronilor acceleraţi de fotoni (fotoelectronii) este şi ea o funcţie liniară de frecvenţa luminii incidente, şi, dacă se trasează dreapta care reprezintă această dependenţă liniară, coeficientul ei unghiular se dovedeşte a fi egal, numeric, cu constanta lui Planck, aşa cum se prevăzuse.

Trebuie subliniat că în concepţia granulară a luminii, intensitatea radiaţiei incidente măsoară numărul de particule de energie care interacţionează pe secundă, pe centimetrul pătrat de suprafaţă a corpului iradiat. Rezultă că numărul efectelor fotoelectrice care se produc pe secundă în interiorul acestui corp este proporţional cu intensitatea luminii.

Vom nota, pentru a reţine, că cu cit un electron gravitează pe o orbită mai apropiată de nucleu, cu atît mai puternică este legătura pe care cîmpul electrostatic o creează între el şi nucleu. Va fi nevoie deci, în acest caz, de mai multă energie pentru a-1 smulge de pe această orbită. în schimb, atunci cînd revine pe nivelul lui cuantic, electronul va emite, fireşte, o cuantă corespunzătoare de lumină, adică o cuantă care posedă o energie cu atît mai mare, cu cît electronul gravitează pe o orbită mai apropiată de nucleu. Aceasta înseamnă că un electron de pe o pătură internă va emite lumină violetă, în timp ce un electron de pe o pătură periferică va emite lumină roşie.

Nivelele cuantice

Orice particulă este înzestrată cu o mişcare de rotaţie proprie, a cărei origine trebuie căutată poate în natura însăşi a masei-energie, adică a ceea ce Vigier a numit *nivelul subcuantic.*

Electronii care gravitează în jurul nucleului, în unul sau celălalt din sensurile posibile şi pe orbite diferit înclinate, care dau atomului aspectul unui continuu spaţio-temporal pseudosferic, sînt înzestraţi deci cu un *„spin",* sau cu un *„moment cinetic"* propriu.

Spinul, proprietate inerentă oricărei particule, ca şi mişcarea este întotdeauna cuantificat. (Cititorul poate găsi unele amănunte privind această noţiune fundamentală în lexicul sumar de la sfîrşitul cărţii).

Teoria cuantelor arată că în cazul nucleului care conţine un singur proton, în jurul căruia gravitează un singur electron ca satelit (atomul de hidrogen), avem o traiectorie fundamentală de 53 micromicroni. Datorită vitezei sale proprii, care compensează efectul cîmpului electrostatic (atracţia reciprocă dintre proton şi electron), electronul se învîrte de aproape 6 milioane de miliarde de ori pe secundă în jurul protonului, pe o orbită circulară afectată de o mişcare de precesie, ceea ce permite ca şi atomul de hidrogen să-şi păstreze irnagi-

nea sferică schematică de care sna vorbit mai sus. Dacă acestui electron i se furnizează o cuantă de energie, el sare pe nivelul cuantic superior şi gravitează cu o viteză de două ori mai mică. Atunci cînd excitaţia încetează, electronul revine pe orbita originară, restituind, sub forma unui foton, energia pe care o primise.

Principiul de excluziune, al lui Pauli, stabileşte cu precizie normele conform cărora electronii sateliţi se distribuie pe cele şapte nivele cuantice. Locul fiecărui electron într-un atom dat este fixat, pe de o parte, de efectele de rezonanţă, care determină „starea staţionară" a electronilor (dar care nu înseamnă o încetare a mişcării, ci starea fundamentală în care sistemul nu emite nici o radiaţie) pe orbitele K, L, M, N, O, P, Q, (crescînd cu pătratele numerelor întregi), şi, pe de altă parte, de interacţiunile reciproce care limitează numărul electronilor care pot încăpea pe cele şapte nivele cuantice posibile.

De exemplu, în stare staţionară, unicul electron al atomului de hidrogen gravitează în pătura K ; la atomul de fier avem 2 eleotroni în pătura K, 8 în pătura L, 14 în pătura M, 2 în pătura N ; la atomul de uraniu avem 2 electroni în pătura K, 8 electroni în pătura L, 18 electroni în pătura M, 32 de electroni în pătura N, 21 de electroni în pătura O, 9 electroni în pătura P şi 2 electroni în pătura Q.

Pentru amănunte privind repartiţia electronilor conform regulilor cuantice, cititorul este rugat să folosească unul din manualele recente de fizică. Vom insista doar asupra faptului că volumul spaţial al unui atom nu creşte în proporţie cu masa lui. Din cauză că intensitatea cîmpului electromagnetic creşte cu numărul protonilor din nucleu, este uşor de înţeles că cei doi electroni din pătura K a atomului de uraniu de exemplu, cu cei 92 de protoni ai lui, se vor situa mult mai aproape de nucleu decât unicul electron al atomului de hidrogen al cărui nucleu este reprezentat printr-un singur proton. Din punctul de vedere al raportului masă/volum, elementele zise „uşoare" au realmente o densitate mică, în timp ce elementele „grele" sînt extrem de dense. Această situaţie o regăsim atunci cînd examinăm elementele lumii noastre sensibile în condiţii „normale" de presiune şi de temperatură, adică în condiţiile existente pe planeta noastră. Acţionînd asupra acestor presiuni şi temperaturi, sînt posibile, în teorie cel

puţin, orice fel de transformări afle gazelor în lichide şi solide (şi, invers, ale solidelor în lichide şi gaze, prin mărirea temperaturii). Experienţa a arătat însă că şi la zero absolut (—273°C) mai subzistă încă o vibraţie reziduală, care împiedică, de exemplu, ca heliul să treacă în formă solidă.

Pentru a termina această scurtă rememorare a generalităţilor, să mai arătăm că proprietăţile chimice ale unui element depind de numărul electronilor care gravitează pe nivelul cuantic cel mai exterior (fiindcă legăturile moleculare depind ele însele de combinaţiile atomilor, care se fac la nivel electronic). Există metale (sau elemente considerate ca metale) ai căror atomi au 1, 2 şi 3 electroni periferici. Primele sînt „electropozitive“, ceea ce înseamnă că în legăturile chimice, electrovalente, ele cedează uşor electronii lor periferici (devenind astfel ioni pozitivi), celor de-ăl doilea, care sînt „electronegative" şi acceptă uşor electronii cedaţi (devenind prin această operaţie ioni negativi).

Atomii saturaţi, cu 8 electroni periferici (gaze rare, ca radonul sau neonul), nu intră practic în combinaţie cu alţi atomi. Din contră, atomii cu 4 electroni periferici, numiţi „semiconductor?' se leagă tot aşa de bine cu metalele ca şi cu metaloizii sau *cu ei înşişi,* permiţând numeroase şi felurite combinaţii. Acesta este în special cazul carbonului, element fundamental al structurilor vii.

Dualismul undâ-corpuscul

Părea, în secolul al XlX-lea, un fapt definitiv stabilit că lumina este un fenomen cu caracter ondulatoriu. Descoperirea de către Herz, în 1887, a efectului fotoelectric a evidenţiat însă primul fenomen care obliga pe oa-
menii de ştiinţă să recunoască că acţiunea luminii asu-

pra materiei nu putea fi explicată numai prin „vibraţiile eterului". Cel puţin în parte, Newton a avut dreptate.

După ce experienţele lui Michelson şi Morley dăduseră lovitura de graţie eterului, aşa cum era conceput atunci (după cum fatală îi fusese şi teoria relativităţii restrînse), Einstein a arătat că se poate da o interpretare efectului fotoelectric, admiţînd că în orice undă luminoasă de frecvenţă u energia este concentrată în „granule" de valoare *h* u *(h* — constanta lui Pianck).

Este un fapt incontestabil însă că lumina nu este numai un flux de fotoni, fiindcă frecvenţa este o noţiune ondulatorie. Teoria corpusculară singură n-ar putea explica, de altfel, fenomenele de interferenţă şi de difracţie observate, aşa după cum fusese observat şi efectul fotoelectric. Nu există nici o îndoială că după felul în care este observată, lumina se comportă fie ca o undă, fie ca un flux de corpuscule.

Puţin timp după aceea s-a întrezărit posibilitatea ca şi electronul (iar acum orice altă particulă) să se comporte, în anumite condiţii, ca o undă...

Bohr şi Sommerfeld au arătat că introducând cuantele în teoria atomului, aşa cum era prezentată pe atunci de Rutherford, se obţinea o interpretare care se potrivea cu un număr de fenomene observate : electronii şi alte corpuscule nu urmau legile mecanicii clasice şi nu puteau să aibă decît anumite stări de mişcare (stările staţionare ale lui Bohr), care satisfăceau „anumite condiţii ale teoriei cuantelor". Toate acestea conduceau direct la noţiunea de numere cuantice şi la consecinţele semnalate mai sus, adică la *discontinuitatea* fenomenelor de absorbţie şi de emisie a energiei.

„Această apariţie a numerelor întregi în problemele de micromecanică — scrie dl. Louis de Broglie[III] —*putea să pară surprinzătoare, dar cum numerele întregi apar adeseori în teoria undelor la calculul fenomenelor de interferenţă sau de rezonanţă, se putea întrezări aici o indicaţie în favoarea ideii că pentru electroni şi pentru alte corpuscule materiale există — ca şi pentru fotoni şi pentru undele luminoase — o dualitate undă-corpus-*

III *Encyclopedie franQaise,* tom. II, *Fizică,* calp. 2 : 2.50—5.

cul".

Dl. Louis de Broglie precizează că pentru el *„corpus- culul este un fel de singularitate în sinul unui fenomen ondulatoriu întins, al cărui centru este corpusculul".*

Formula lungimii de undă echivalentă unei particule in mişcare este $X = \frac{h}{m\,v}$. Această „undă de materie'[1] nu este o radiaţie electromagnetică, cu toate că ea ar putea să aibă aceleaşi lungimi de undă ca şi lumina vizibilă sau invizibilă.

Unda căreia i s-a dat denumirea Y (psi, din alfa- betul grec) are lungimea de undă $X = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v}$ (*p* fiind cantitatea de mişcare, *h* — constanta lui Planck, *E (E = mc²)* — energia, *v* — viteza particulei, iar c — viteza luminii).

Cele două formule ale mecanicii ondulatorii se scriu :

$$E = \frac{n}{\text{Á}}v, \qquad p = \frac{}{\dot{X}}$$

Ele leagă mărimile corpusculare *E* şi p, cu mărimile ondulatorii v şi Ă.

Pentru dl. Louis de Broglie, unda „însoţeşte" (undă asociată), ca să zicem aşa, corpusculul. Din contră, în mecanica onidulatorie a lui Schrodinger, drept „reale" sînt considerate numai undele. Autorul precizează : *„Numai undele pot avea o semnificaţie fizică, iar propagarea lor dă loc, în anumite cazuri, unor aparenţe corpuscu- lare".*

Mecanica cuantică

Fiică a cuantei lui Planck, şi a mecanicii ondulatorii, deşi concepută pe baza unor principii cu totul diferite, mecanica cuantică se bazează pe noţiunea de *probabilitate.*

„Armată numai cu unda sa Y — scrie dl. Louis de Broglie[IV] — *interpretarea uzuală a mecanicii ondulatorii n-a putut menţine ideea tradiţională potrivit căreia corpusculele descriu în spaţiu o traiectorie bine definită, avînd în fiecare punct al acestei traiectorii o viteză bine determinată. Această concepţie nu i s-a mai părut valabilă decît în cazuri limită, foarte particulare. De aceea, mecanica ondulatorie a fost silită, în mod necesar, să ia o formă «probabilistă»".*

Această transformare a avut mai multe urmări şi, în special, înlocuirea legilor deterministe ale mişcărilor corpusculare, folosite în mecanica clasică, prin formulări probabiliste degajate iniţial din lucrările lui Schrodin- ger şi din cercetările lui Max Bom.

Au venit apoi *relaţiile de incertitudine* ale lui Werner Heisenberg, care au decurs din observaţia făcută de Bohr şi Heisenberg că este imposibil să se cunoască simultan poziţia şi starea de mişcare a unui corpuscul.

Să presupunem un corpuscul în flux continuu şi permanent, animat — în afara oricărui cîmp de forţă — de o mişcare rectilinie şi uniformă. Conform mecanicii ondulatorii, unda sa asociată Y este o undă plană monocromatică, de frecvenţă *E/h* şi de lungime de undă *h/p*. In cazul acesta, starea de mişcare este perfect cunoscută, în schimb, după principiul interferenţelor, poziţia este complet necunoscută, şi deoarece cantitatea $|Y|^2$ este în acest caz o constantă, toate poziţiile din spaţiu sînt la fel de probabile.

Acesta este un caz limită. In general, unda Y este formată dintr-o suprapunere de unde plane monocromatice, constituind un grup de unde de dimensiuni limitate. Deci, intensitatea undei Y^2 nu este diferită de zero decît în regiunea ocupată de grupul de unde, astfel că poziţia este mai bine definită decît în cazul limită citat mai sus.

Dar fenomenul acesta mai are şi altă faţă.

Deoarece un grup de unde de dimensiuni finite comportă în mod necesar o suprapunere de unde plane monocromatice şi fiindcă unor anumite componente le co-

IV *Loc. cit.*
iLoc. cit.

respunde o stare de mişcare diferită, nu mai putem atribui corpusculului o stare de mişcare bine definită : principiul descompunerii spectrale ne arată, intr-adevăr, că există o întreagă serie de valori posibile ale cantităţii de mişcare, afectate de probabilităţi diverse. Ceea ce se cîştigă în cunoştinţe asupra poziţiei, atunci cînd se trece de la unda plană monocromatică la grupul de unde limitat, se pierde în cunoştinţele asupra cantităţii de mişcare.

„Mai putem considera încă — scrie dl. Louis de Broglie — *cazul limită opus aceluia al undei plane, şi anume cazul unui grup de unde de dimensiuni infinit de mici. Reprezentarea lui Fourier a grupului de unde comportă atunci, după cum se poate demonstra, suprapunerea de unde plane monocromatice avînd toate lungimile de undă şi toate direcţiile de propagare posibile. Se vede deci, că în timp ce poziţia este acum determinată (deoarece grupul de unde este aproape punctual), starea de mişcare este cu totul nedeterminată, fiindcă toate mărimile şi toate orientările cantităţii de mişcare sînt la fel de probabile".*

Este uşor de conchis că în observarea unui fenomen la scara microcosmului, *cu cit este definită mai bine poziţia, cu atît mai mare este incertitudinea asupra cantităţii de mişcare, şi invers.*

„Acest fapt poate fi exprimat — subliniază dl. de Broglie — *sub formă cantitativă, bazîndu-ne pe proprietăţile matematice ale reprezentării grupurilor de unde prin integralele lui Fourier".*

Se demonstrează astfel că dacă *Ax, Ay,* şi A?, indică dimensiunile unui grup de unde de^a lungul a trei direcţii rectangulare, componentele monocromatice ale acestui grup de unde ocupă întotdeauna un interval spectral astfel ca să avem în ordine de mărime :

A® • Ap_x ^*h, Ay* • Ap_y > *h, Az* • *Ap,* > *h,* adică

„relaţiile de incertitudine".

Relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg arată deci că *nu se pot atribui niciodată unui corpuscul, la un moment dat, o poziţie şi o stare de mişcare perfect determinate.* Cu cit este cunoscută mai precis una din coordonate, cu atît este mai incertă valoarea componentei corespunzătoare a cantităţii de mişcare, şi invers.

Inegalitatea A-®-A^^este complementul celor trei inegalităţi precedente : A *E* reprezintă incertitudinea minimă care subzistă asupra valorii energiei la sfîrşitul unei măsurări a acestei mărimi care a durat un timp A t.

După cum afirmă dl. de Broglie, relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg pot fi interpretate în felul următor :

„Dacă, aşa cum se admite în mecanica ondulatorie, starea unui corpuscul poate fi reprezentată întotdeauna printr-o undă, To *măsurare făcută cu cea mai mare precizie posibilă nu poate să ne dea, pe coordonate şi pe componentele cantităţii de mişcare a unui corpuscul, decît indicaţii compatibile cu relaţiile de incertitudine. Analizînd diverse procedee de măsură, d-nii Bohr şi Heisenberg au arătat că după toate aparenţele lucrurile se petrec cu adevărat aşa, şi aceasta datorită însăşi existenţei cuantei de acţiune".*

Mecanica matricială şi relaţiile de incertitudine

Expunerea care precedă rămîne strîns legată de mecanica ondulatorie. Or, mecanica cuantică, cu toate că tinde spre aceleaşi obiective, are un specific propriu şi o independenţă totală faţă de mecanica ondulatorie. Mecanica cuantică pleacă, de altfel, de la un sistem de calcul puţin obişnuit. în algebra curentă, *ab = ba,* exact după cum 3X4 sau 4X3 fac întotdeauna 12. Heisenberg, după ce a studiat cu o atenţie deosebită anumite teorii matematice, al căror aspect abstract n-are ce căuta în această carte, cu atît mai mult că ele depăşesc mult posibilităţile autorului... a ajuns să susţină că ab poate fi diferit de *ba.*

Ne reamintim că înainte de a pleca să-şi îngrijească (sau ca să capete) guturaiul pe insula Heligoland, de Rusaliile anului 1925, Heisenberg depusese pe biroul profesorului său, Max Born, o lucrare cu totul originală, şi că aştepta pe Heligoland, nu fără oarecare îngrijorare, ştiri despre felul în care lucrarea fusese primită de acest judecător de primă instanţă. Va trebui să ne repetăm puţin.

După Helmut Cari[V], Born urma să istorisească evenimentul treizeci de ani mai tîrziu, în discursul -pe care l-a ţinut cu ocazia primirii Premiului Nobel, la Stockholm :

„Regula înmulţirii a lui Heisenberg nu mă lăsa în pace, astfel că după opt zile de meditaţie intensă şi de încercări, mi-am adus deodată aminte de o teorie algebrică pe care o învăţasem de la profesorul meu Rosanes, din Breslau. Am aplicat schema lui pătrată, matricele, la condiţiile cuantice ale lui Heisenberg".

Metoda complet elaborată, regăsită de Born, se prezintă astfel :

3oo	**?01**	**?02**
!7io		***912***
?20	**5'21**	***9.22***

Matematic, un asemenea aranjament se numeşte o *matrice.*

Dacă diferiţii q_{mn} sînt înlocuiţi prin expresia matematică a diferitelor stări posibile ale atomului — *„şi dacă* — precizează Helmut Cari — *ştii să calculezi cu acest instrument ciudat"* — se obţin rezultate juste, fără ipoteze forţate sau suplimentare.

Din punct de vedere fizic, noua matematică se deosebeşte destul de puţin de regulile de calcul uzuale :

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i}$$

V *Les secretos de la matiire,* p. 169 şi urm.

„Iată — arată Helmut Cari — ce *trebuie să scrie acela care vrea să facă calcule în domeniul atomic".*

în lumea experienţei noastre, care este mare, comentează mai departe Helmut Cari, *h,* cuanta lui Planck, este un număr *foarte* mic şi „practic" nul ; rînd se poate lua *h = 0,* regăsim că *pq = qp* şi că 3X4 sau de 4X3 fac tot 12. *Numai în microcosm, în care cuanta de acţiune stă la baza fenomenelor, regulile de calcul uzuale nu mai sînt valabile.*

în mecanica cuantică, astfel cum a apărut ea în 1925, în locul orbitelor planetare ale electronilor, propuse de Bohr, apărea o schemă numerică, căreia nu-i corespundea nici o imagine concretă. Curios însă, că tocmai a- ceastă abstracţie este aceea care reprezintă cel mai bine fenomenele, în sensul că previziunile sale statistice se potrivesc cu experienţa.

în „noua" lui mecapică ondulatorie (nouă în raport cu mecanica ondulatorie a lui Louis de Broglie, publicată în 1924), elaborată în 1926, Schrodinger, bazîndu- se pe teoria funcţiilor sferice (cu ajutorul cărora calculul este mai uşor decît cu matricele), a găsit aceleaşi rezultate ca şi Heisenberg, Bonn şi Jordan. Schrodinger a demonstrat că mecanica ondulatorie şi mecanica cuantică (mecanica matricială) au o valoare matematică egală. Folosirea primei este mai uşoară, însă imaginea tridimensională pe care ea o oferă (undă sferică care înconjură nucleul atomului) nu este valabilă decît în ceea ce priveşte atomul de hidrogen şi nu depăşeşte stadiul atomului de heliu simplu ionizat. Doi electroni impun deja un spaţiu cu şase dimensiuni şi, de aceea, arată Helmut Cari, *„mecanica ondulatorie devine un formalism matematic de care nu se mai leagă nici o reprezentare concretă, oricît de perfecte şi de eficace ar fi calculele pe care ea le permite".*

Einstein şi dl. Louis de Broglie îndiniay pentru „realitatea corpusculară" ; Schrodinger pentru „realitatea undei". în esenţă, trebuie să admitem că particula (fiindcă este imposibil să negăm existenţa masei, pe oare putem s-o vedem şi s-o pipăim, şi care există, fără îndoială, în afara reprezentării pe care şi-o face observata- rul) se comportă fie ca un corpuscul, fie ca o undă, că ea are un „aspect dublu" şi că, în fond, acest lucru se potriveşte cu „experienţa" : materia nu se „creează" ple- cînd de la o entitate, energia, şi nici nu se „anihilează". Masa şi radiaţia

(sau cîmpul) sînt *aspecte diferite* (sau, dacă vreţi, complementare) ale unei aceleiaşi realităţi pe care, în lipsa unui alt cuvînt, avem dreptul s-o numim „materie".

Fără îndoială că aceasta nu redă exact convingerea intimă a autorilor mecanicii cuantice, deşi scopul lui Heisenberg a fost, incontestabil, să „traducă realitatea" şi nu să se mulţumească cu imagini „comode" (în sensul înţeles de Poincare). La începutul lucrărilor sale, Heisenberg dorea să elimine din vechea teorie, pe baza concepţiei „atomului lui Bohr", tot ce nu corespunde unei *„măsurări fizice posibile",* pentru ca să nu păstreze decît „mărimile măsurabile", prezentate astăzi sub denumirea de „observabile". Abia mai tîrziu a ajuns la consideraţiile sale asupra rolului observatorului (şi al instrumentelor pe care le foloseşte observatorul). Este neîndoielnic totuşi că raţionamentul său de bază este inatacabil.

Atunci cînd dorim să măsurăm *simultan,* cu o precizie *absolută,* poziţia şi viteza unui corpuscul din domeniul atomului, găsim că n-avem posibilitatea s-o facem. De ce ? Pentru că trebuie să folosim unde foarte scurte, ca să ajungem la particulă, căreia, tocmai prin această operaţie, îi comunicăm o energie care îi perturbă poziţia. Ajungem la o imprecizie, la o *incertitudine* a cărei valoare a fost indicată de Heisenberg (incertitudinile lui Heisenberg) :

$$\text{Ap- Aq} > h\ ;$$

ăp este incertitudinea unei măsurări a mişcării, iar Aq este incertitudinea unei măsurări a poziţiei.

Produsul lor este cel puţin egal cu cuanta de acţiune *h,* care apare ca o valoare determinantă.

Dacă vrem acum să măsurăm poziţia q, a corpusculului, adică să egalăm incertitudinea q, vom avea :

$$\Delta p \geqslant \frac{h}{\Delta q},$$

adică o valoare infinită a 'incertitudinii referitoare la măsura mişcării.

Putem spune, în rezumat, că graţie mecanicii cuantice, ceea ce s-a cîştigat în precizie din punctul de vedere al „realităţii" atomice, s-a pierdut din punctul de

vedere al reprezentării concrete. Omul de ştiinţă însă trebuie să evite în primul rînd pericolul antropomorfizării ; *în prezent, şi cu mijloacele de care dispunem,* atomul nu poate fi explicat altfel decît sub formă probabilistă.

Relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg arată că nu se pot atribui unui corpuscul, la un moment dat, o poziţie şi o stare de mişcare perfect determinate. Cu tit este cunoscută mai precis coordonata poziţiei, cu atît este mai nesigură valoarea componentei corespunzătoare a cantităţii de mişcare, şi invers.

în nucleul atomului

La începutul acestui secol s-a observat că sustrăgînd electroni dintr-un atom dat, acesta se transforma într-un *ion pozitiv,* adică capabil să atragă sarcini electrice de semn negativ. Lucrul acesta indica prezenţa electricităţii pozitive în atomi.

în jurul anului 1900, experienţele lui Rutherford asupra trecerii pretinselor „radiaţii a“ (nuclee de heliu) prin materie au demonstrat că electricitatea de semn pozitiv este concentrată în centrul atomului, în ceea ce a fost numit imediat „nucleu".

Nucleul era considerat pe atunci „indivizibil". După exemplul electronului („particula de electricitate de semn negativ"), s-a degajat încet, încet, printre teoreticieni, noţiunea de proton („particulă de electricitate de semn pozitiv”). Apoi, în 1913, Bohr a arătat că numărul atomic corespunzînd rangului pe care îl are elementul în „clasificarea periodică" (stabilită de Mendeleev încă din 1869) indică şi numărul de electroni ai atomului. Deoarece atomul era neutru, trebuia să se admită, prin deducţie logică, că în nucleu există tot atîţia protoni, cîţi electroni sateliţi gravitează pe orbite în jurul acestui nucleu.

Cum se putea admite însă că un „pachet" de protoni, cu toţii încărcaţi cu electricitate de semn pozitiv şi care trebuiau deci să se respingă reciproc cu o forţă invers proporţională cu pătratul distanţei care îi separa (şi totul părea să se petreacă ca şi cînd ar fi fost foarte apro- piaţi), puteau să formeze structura nucleară, infinit mai

compactă decît restul atomului ? Pe de altă parte, după

ce masa protonului fusese aflată, se dovedea că toate nucleele, cu excepţia nucleului de hidrogen care este protonul tuturor atomilor, au mase care nu corespund rezultatului pe care îl dă înmulţirea masei unui proton cu „numărul de sarcină" (numărul Z, sau numărul atomic). Ştim astăzi că începînd cu *deuteriul,* izotopul hidrogenului care intră în compoziţia apei grele, masa unui nucleu este mult mai mare decît multiplul masei protonilor care îl constituie, şi am aflat că este aşa fiindcă în orice nucleu, începînd cu acela al deuteriului, protonii sînt aso- ciaţi cu *alţi nucleoni* (adică cu alte particule nucleare), şi anume cu *neutronii,* al căror nume arată că din punct de vedere electric ei sînt „fără sarcină", adică neutri.

Spre descoperirea neutronului

Cunoaştem în prezent mai multe cîmpuri de forţă din care decurg structurile universului, începînd de la microcosm, pînă la macrocosm. Principalele câmpuri, ale căror legi le cunoaştem în prezent destul de bine, sânt *cîmpul gravitaţional, cîmpul electromagnetic* şi *cîmpul nuclear,* la care se adaugă *cîmpul interacţiunilor slabe,* destul de puţin cunoscut.

Cîmpul gravitaţional controlează mişcările marilor corpuri cereşti şi determină ceea ce noi numim gravitaţia. Rolul lui este cu totul neînsemnat la scara particulelor, deşi nu este nul chiar de la .particulă la particulă. Dirac a emis ipoteza că acest câmp s-ar putea materializa sub forma unui *„graviton"* ipotetic care, dacă există în realitate, ar trebui să fie aşa de „mic", încât dimensiunile ar constitui un obstacol aproape de netrecut pentru punerea lui în evidenţă. După Einstein, gravitaţia nu este decât un efect al deformării spaţiului-timp, datorită prezenţei maselor (ceea ce nu implică, poate, existenţa unui „graviton"). Anumiţi autori cred că forţa gravitaţională, în virtutea căreia, conform formulei lui Newton, *„corpurile materiale se atrag direct proporţional cu masa lor şi invers proporţional cu pătratul distanţei dintre ele",* nu numai că ar putea să înceteze atunci cînd atinge o anumită dimensiune a spaţiului-timp, dar chiar să-şi „schimbe

sensul", ceea ce ar însemna că la 'asemenea distanţe cosmice considerabile atracţia s-ar transforma în repulsie, lucru ce ar putea explica, probabil, fenomenul derutant al recesiei galaxiilor.

Cîmpul electromagnetic acţionează numai asupra particulelor încărcate, la toate nivelurile microcosmului şi macrocosmului şi, după cîte se pare, în completă concordanţă cu legea lui Coulomb, conform căreia *„două corpuri încărcate se atrag* (dacă sînt de semn contrar) sau *se resping* (dacă sînt de acelaşi semn) *invers proporţional cu pătratul distanţei care le separă".*

Or, aşa cum am văzut mai sus, un nucleu n-ar putea fi constituit decât din protoni (particule de acelaşi semn), fiindcă, în marea majoritate a cazurilor, este vorba — în stare naturală (adică făcînd abstracţie de elementele radioactive) — de un edificiu cu o foarte mare stabilitate şi relativ compact.

Pentru a neutraliza electricitatea pozitivă, primii teoreticieni imaginaseră prezenţa în nuclee a electronilor (negatoni). Această teorie a trebuit să fie părăsită, fiindcă masa electronului este practic nulă în comparaţie cu aceea a nudeonului (care are o masă de 1 840 de ori mai mare decît aceea a electronului), astfel că diferenţele dintre masele reale şi cele teoretice erau prea mari.

Adevărul a început să fie bănuit de-abia atunci cînd s-au putut determina, cu ajutorul spectrografului de masă, „greutăţile" izotopilor. S-a observat anume că masele izotopilor sînt apropiate de multiplii întregi ai masei protonului. Aceasta ar fi putut să însemne că pe măsură ce un element se ridică în tabloul lui Mendeleev, el îşi măreşte numărul protonilor din nucleu, astfel că protonii excedentari (în raport cu numărul electronilor) ar trebui să fie dublaţi de tot atîţia negatoni.

Totuşi, diferenţele constatate între mase, deşi reduse, arătau că această teorie rămânea foarte nesatisfăcătoare. Experienţele ulterioare, şi anume cele asupra comportării statistice a nucleelor, au întărit această impresie, deşi dificultatea a părut eludată atunci cînd Paul Lan- gevin a demonstrat, în concordanţă perfectă cu teoria relativităţii, că masa unui nucleu este întotdeauna mai

mică decât masa componentelor lui. „Defectul de masă" reprezintă *energia de legătură* care este *eliberată* în procesele de transformare nucleară.

Chiar şi în 1930, Eddington continua să mai susţină că nu există decât două feluri de „particule elementare", în afară de foton : electronul şi protonul.

La aceeaşi epocă totuşi, Frederic şi Irene Joliot-Curie observau că o „radiaţie" neutră din punct de vedere electric, rezultată dintr-o radioactivitate indusă, putea să pună în mişcare protonii conţinuţi într-o ţintă de parafină, lucru care lăsa să se presupună că „radiaţia" avea o masă destul de importantă. Plecînd de la această constatare, Chadwick a descoperit, în 1932, că era vorba de fapt de o particulă neutră, căreia i s-a dat numele de *neutron.*

S-a putut stabili că, în comparaţie cu masa electronului, masa neutronului este de 1 838 de ori mai mare, iar cea a protonului de 1 836 de ori.

Scurt timp după această descoperire, Heisenberg a propus să se admită că nucleele sînt formate nu din protoni şi electroni, ci din protoni şi neutroni.

Vrem să stăruim asupra faptului că protonii şi neutronii sînt, în esenţă, *nucleoni* şi că diferă ca formă unii faţă de alţii. într-adevăr, absorbind un electron negativ (un negaton), protonul se preschimbă într-un neutron ; emiţînd un electron pozitiv (un pozitron), protonul se transformă de asemenea într-un neutron, iar neutronul care emite un negaton se transformă în proton ş.a.m.d.

Aceasta nu înseamnă însă că un neutron ar fi „constituit" dintr-un proton şi dintr-un negaton.

Către noţiunea de antimaterie

Tot lui Heisenberg i se datoreşte prima ipoteză asupra transmutaţiei nucleonilor. Teoria sa despre neutronii consideraţi drept particule elementare componente ale nucleului (la fel ca şi protonii) provocase controverse violente. In procesele radioactive, fuseseră observate emisii P, care nu erau altceva decît electroni, şi fenomenul

acesta constituise un sprijin puternic al teoriei despre prezenţa negatonilor în nucleu. Dar dacă această teorie se .prăbuşea, de unde veneau radiaţiile 0 ?

Heisenberg a enunţat atunci teza sa despre neutronul care se transformă, în decursul unor anumite procese radioactive, într-un cuplu proton-negaton. Acest din urmă electron, „creat" aparent prin dezintegrare sau, mai exact, ca efect al acestui proces, scapă în afara nucleului.

Dl. Louis de Brogiie n-a şovăit să scrie [1] : *„Am văzut răspîndindu-se ideea, unanim acceptată astăzi, că nu numai nucleele sînt complexe, dar că şi particulele fundamentale, considerate ca simple, se pot transforma unele in altele, astfel cum este cazul neutronului care se poate descompune în proton şi electron. Rezultă deci că descoperirea neutronului, completată cu ideile lui Heisenberg, a jucat un rol important în orientarea actuală a concepţiilor noastre asupra nucleelor şi particulelor fundamentale".*

în timp ce Chadwick descoperea neutronul, Blackett, Anderson şi Occhialini detectau prezenţa în radiaţia cosmică a unui electron pozitiv (sau pozitron), prevăzut de teoria lui Dirac, conform căreia universul este un fel de „mare de electroni", în care fiecărei particule de materie — aşa cum sîntem noi în măsură să o observăm — i-ar corespunde o *antiparticulă.*

Antiparticula s-ar distinge de particulă prin aceea că prima ar fi în raport cu cea de-a doua — pe care noi putem s-o observăm *(noi, oamenii care sîntem construiţi din particule, care trăim şi acţionăm datorită mişcărilor lor şi efectelor de forţă care derivă din aceste mişcări)* printr-o *stare de energie negativă.* Noţiunea diferă de sarcina electrică, deşi antiparticula are întotdeauna o sarcină opusă şi un moment magnetic opus acelora ale particulei.

O excelentă prezentare a lucrărilor autorului mecanicii ondulatorii relativiste o găsim în tratatul despre anti- materie al lui Maurice Duquesne[VI] [VII] Vom încerca să *rezumăm* din acest tratat ceea ce este

---

VI *Sur Ies sentiers de* la *science,* p. 324.
VII *Matiere et arttimatiere,* cap. VI, p. 62.

esenţial în legătură cu noţiunea de „energie negativă".

în formula lui Einstein $E=m_oc^2$, *E* este energia „condensată", ca să zicem aşa, în fragmentul de materie studiat, pe care îl numim particulă ; $m\hat{}c^2$ este masa de repaus *(m* zero) a acestei particule, înmulţită cu pătratul vitezei luminii (c) în vid. Nimic nu interzice însă ca această formulă să fie precedată de semnele convenţionale + sau —, ceea ce înseamnă că în raport cu „cealaltă'[VIII], una din energii este „anti"

Şi Dirac a elaborat cunoscuta sa *teorie a lacunelor,* despre care a oferit o excelentă schiţă de popularizare.

Să ne imaginăm o cutie, spunea Dirac, pe fundul căreia putem alinia exact 100 de bile minuscule, dar atît de mici incit nu există practic „vid" între ele şi, ca atare, este greu să se atingă una de alta (aşa-zisul fund continuu al cutiei, analog „mării lui Dirac"). Dacă avem apoi 50 de bile suplimentare în cutie, ele vor aluneca peste celelalte, iar observatorul le va putea *vedea* (dar în aceeaşi măsură în care „vedem" particulele proton şi electron).

Cele 100 de bile de pe fundul cutiei pot fi asimilate particulelor „cu energie negativă", la care *E,* energia, este mai mică decît $m\hat{}c^2$; dimpotrivă, cele 50 de bile excedentare sânt asimilabile cu particulele „cu energie pozitivă" (protonii şi electronii „noştri"), la care *E* este mai mare decît $m\hat{}c^3$.

Dacă o anumită energie exterioară face să sară o bilă din fundul cutiei la nivelul superior, vom observa o „lacună" pe „fundul continuu", pînă atunci invizibil : această lacună poate fi considerată, în raport cu bilele, drept contrariul lor, după cum o cavitate este contrariul unei proeminenţe. Ar rezulta de aici ideea că drept corolar al particulelor din „lumea noastră" ar trebui să existe antiparticule, care să le fie contrarii din punct de vedere electromagnetic.

Totuşi, „lacuna" va fi „astupată" repede de una din cele 51 de bile suplimentare (50 de bile originare, plus

---

VIIIDacă se ia în consideraţie şi impulsul p al particulei, avem relaţia $E^2 = pM + m_0{}^{2c/}$', care are două rădăcini :

$$^{£} = \pm / p^2 c^2 + m \text{ j } c^1 .$$

Punlnd p = o, rezultă $E=\pm m_oc^2$ *(E* pozitiv sau negativ, în raport cu ,,vidul" lui Dirac).

bila venită de la nivelul inferior), astfel că vom observa că au dispărut : a) lacuna *considerată ca o bilă de semn contrar ;* b) cea de-a 51-a bilă (care nu trebuie să fie neapărat chiar aceea care a sărit de la fund, la nivelul superior). în felul acesta se poate explica, pe de o parte, de ce în marile acceleratoare nu este „posibil" să se *creeze* decît perechi de particule (din care una este antiparticula celeilalte) şi, pe de altă parte, de ce antiparticula are o *viaţă aşa de scurtă* şi de ce dispariţia ei antrenează, în paralel, anihilarea unei particule (după cum plus adunat cu *minus* dă zero). Procesul dă loc unei eliberări de energie *E,* egală cu *Zm^c*^{2}*,* adică cu suma energiilor celor două particule.

Vom reaminti, cu titlu informativ, că este necesară o energie de peste 1 milion de electronvolţi pentru a „crea" o pereche pozitron-negaton şi o energie de peste 6 miliarde de electronvolţi pentru a crea o pereche nucleon- antinucleon. Din această cauză nu ne mai putem mira că studiul „particulelar stranii", despre care vom vorbi ceva mai departe, necesită acceleratoare din ce în ce mai puternice.

Misteriosul neutrino

Puţin timp după descoperirea radioelementelor artificiale de către Joliot-Curie, au putut fi observate procese de radioactivitate P $^+$ (emisii de electroni pozitivi sau pozitroni, în locul electronilor „clasici", adică al electronilor negativi sau negatoni). Heisenberg a arătat că fenomenul se datoreşte faptului că în radioactivitatea artificială protonul nuclear se transformă, în cadrul transmutaţiilor intervenite, într-o pereche neutron-pozitron, un nou exemplu de transformare nudeanică.

Din studiul diferitelor forme ale radioactivităţii P au reieşit anumite anomalii. Faptul că electronii emişi pre- zentau un spectru continuu de energie' părea în opoziţie cu

principiul conservării energiei. Se dovedise, cu toate acestea, că energia se conservă în cazul cînd electronul este emis cu maximum de energie (corespunzînd limitei superioare a spectrului energiilor Ş).

Aceasta l-a făcut pe Pauli să exprime părerea că atunci cînd o particulă este emisă cu o energie inferioară limitei spectrului continuu, fracţiunea de energie pe care nucleul radioactiv o conţinea înainte de dezintegrarea lui — energie care pare că dispare în momentul transmutaţiei — este „transportată" de un corpuscul emis în exterior, practic de nedetectat nu numai din cauza „micimii" lui, ci mai ales din cauza caracterului său de neutralitate electrică. Este vorba de neutrino, a cărui existenţă este astăzi dovedită.

Ca orişice particulă, neutrinul se prezintă sub două forme, din care una este antiparticula celeilalte. Antineutrinul, copie perfectă a neutrinului, de masă practic nulă în stare de repaus (fiindcă el nu există decît la viteza luminii, la care această masă continuă să rămînă extrem de mică) se distinge de originalul lui printr-un moment magnetic invers. Neutrinul este permanent în mişcare, cu o viteză egală cu aceea a luminii, în raport cu indiferent ce observator.

Descoperirea cîmpuEui nuclear

Descoperirea neutronului nu rezolvă problema coeziunii nucleonilor. Ea ne spune cel mult că, în nucleele foarte grele, prezenţa unui mare număr de particule electric neutre reduce, într-o măsură apreciabilă, antagonismul reciproc al protonilor, între care aceste particule neutre par că se intercalează.

Şi totuşi, atunci cînd (după ce existenţa neutronului a fost pusă în evidenţă) s-au început noi cercetări, oamenii de ştiinţă erau convinşi că, într-un fel sau altul, neutronii jucau rolul „unui ciment".

Lucrurile nu stau de loc aşa. Vom vedea din cele ce urmează că neutronul (datorită unor procese extrem de complexe, întrevăzute teoretic încă din 1935 de fizicianul

japonez Hideki Yukawa) joacă de fapt rolul unei particule de echilibrare.

Două probleme erau considerate ca predominante pe vremea aceea : trebuia anihilată în primul rînd repulsia electrostatică dintre protoni şi, în al doilea rînd, era necesar să se descopere un *factor de legătură,* care să 'asigure stabilitatea edificiului nuclear. Yukawa nu a ezitat să afirme că există un cîmp de forţă a cărui acţiune era strict limitată la nucleu, ceea ce însemna că raza de acţiune a acestui cîmp nu depăşea o distanţă de ordinul a IO^{-13} cm.

Ecuaţiile undelor din mecanica ondulatorie folosite sub formă relativistă pot furniza indicaţii privitoare la forma matematică a unui cîmp capabil să realizeze aceste condiţii, iar Yukawa sugera că pentru a „materializa" aoest cîmp, trebuia să existe o particulă (după cum există o particulă, fotonul, care materializează cîmpul electromagnetic) a cărei masă trebuia să fie, după calculele sale, de cel puţin 200 de ori mai mare decît aceea a electronului, fără să depăşească însă de 300 de ori această masă.

Primii *mezoni* au fost descoperiţi de fapt în radiaţia cosmică, de o echipă britanică de cercetători (Mott, Powell, Occhialini, Lattes, Muirhead, din Bristol). Masa lor era 238. Li se dădu denumirea de mezoni p (miu, din alfabetul grec). însă *miuonii,* aşa cum au fost numiţi mai tîrziu, nu sînt decât „particule de cascadă". Ei sînt rezultatul dezintegrării mezoniului n, care este adevăratul reprezentant al *cîmpului nuclear.* Viaţa miuonilor este extrem de scurtă (2,2 milionimi de secundă, în medie) şi ei se dezintegrează, la rîndul lor, într-un electron (negaton sau pozitron, după sarcina mezonului *n* original), plus doi neutrini. Fireşte că dacă apare un pozitron, ei se anihilează prin întîlnirea cu un electron (negaton) din mediul ambiant, dînd fotoni.

Mezoniul *n* atinge masa 274 atunci cînd este încărcat cu electricitate pozitivă sau negativă, şi masa 266 atunci cînd este neutru.

Mezonul a neutru este o cuantă a cîmpului nuclear care acţionează între protoni şi protoni sau între neutroni şi neutroni, iar mezonii Jt^{+} sau a^{-} sînt cuante ale cîmpu-

lui nuclear care acţionează între protoni şi neutroni sau invers.

Cîmpul nuclear este creat prin schimburile neîncetate de mezoni dintre nucleoni, după cum schimburile neîncetate de fotoni dintre particulele încărcate creează cîmpul electromagnetic. Cel puţin, aceasta este interpretarea actuală a acestor cîmpuri.

Noţiunea de cîmp

După definiţia clasică, *cîmpul* este „o *mărime fizică prin care se exprimă acţiunile la distanţă".* Se consideră totuşi că există un schimb neîncetat de cuante de energie drept rezultat al interacţiunilor specifice din cîmpuri.

în decursul unor anumite transformări tipic nudeare, se produce o emisie de electroni (pozitroni sau negatoni), plus o emisie de neutrini, care se înrudesc din multe puncte de vedere cu fotonii. Diferenţa dintre neutrini şi fotoni, spune Heisenberg, constă mai ales în faptul că momentul cinetic al neutrinilor es^e — , în timp ce mo- 2
mentul cinetic al fotonilor este 0, sau *h (h* se citeşte „haş

barat" = —

„Este destul de firesc — comentează el — *să admitem că emisia acestor particule este legată de cîmpul forţelor nucleare, aşa după cum legătura reciprocă care există între neutroni şi protoni este făcută de către electroni, pozitroni şi neutrini. Atunci cînd atribuim, în modul acesta anumite particule unui cîmp, nu trebuie să înţelegem prin aceasta că cîmpul este constituit din aceste particule. Expresia „constituit din" înşală întotdeauna intr-o oarecare măsură, fiindcă ne face să presupunem că cîmpul ar putea fi înlocuit prin aceste particule. In fizică însă, cîmpul şi particulele* (indiferent de ce cîmp ar fi vorba) *nu sînt decît două aspecte ale aceleiaşi realităţi.*

Modul cel mai exact de a ne exprima este următorul. Există un tâmp nuclear, iar acest cîmp nuclear ne apare, într-o atare stare staţionară, ca un tâmp care scade continuu şi foarte rapid cu distanţa; în procesele nestaţionare, cîmpul nuclear ne apare ca o radiaţie de unde. Această radiaţie va fi, după metodele de observaţie folosite, o undă sau un flux de particule. După tipul experienţei, radiaţia se va manifesta sub o formă sau alta" [IX].

Să ne folosim, continuă în rezumat Heisenberg, de exemplul familiar al câmpului electric pentru a descrie în două limbaje diferite, acela al undelor şi acela al particulelor, forţă pe care un electron o exercită asupra altuia. Putem spune mai întîi că electronul produce în jurul lui un cîmp electric, care se propagă ascultând de ecuaţiile lui Maxwell şi că aoesit cîmp electric acţionează ■asupra celui de-al doilea electron : exercită o forţă asupra acestui electron (şi invers). în cealaltă reprezentare vom spune : electronul produce o particulă, un foton, şi acesta din urmă este absorbit de un alt electron. într-un oaz vom vorbi despre „emisia unui cîmp", iar în celălalt de „emisia unei particule" ; în primul caz despre „acţiunea câmpului asupra particulei", iar în al doilea despre „absorbţia fotonului de către particulă".

Să presupunem următoarea schemă :

a) *imagine ondulatorie* — electronul produce cîmpul ; cîmpul acţionează asupra celei de-a doua particule ;

b) *imagine corpusculară* — electronul emite un foton ; fotonul este absorbit de cel de-al doilea electron.

în ambele cazuri, este vorba de descrierea unuia şi aceluiaşi fenomen. Primul mod de descriere este familiar tuturor acelora care trebuie să se ocupe cu câmpul electric. Din contră, cu cel de-al doilea mod de descriere nu sîntem deprinşi, fiindcă în tehnică şi în fizica macro- seopică nu ne-ar fi de nici un folos să ne reprezentăm cîmpul cu ajutorul fotonilor.

în fizica nucleară însă (sau numai în cea atomică) este câteodată mai comod — iar cînd e vorba de radiaţia atomului, adesea mai uşor — să vorbim de

IX *La physique du noyau atomique,* p. 104.

fotoni, în loc de unde sferice.

„Vom folosi acum — spune Heisenberg — *exact aceeaşi formulă pentru forţele care se exercită între neutroni şi protoni. Putem începe prin a spune : neutronul produce un cîmp nuclear şi acest âmp acţionează asupra unui proton* (şi invers). *Aceasta înseamnă a ne exprima în limbajul undelor. In limbajul particulelor vorn spune : neutronul emite particule şi aceste particule sînt absorbite de proton"* [1].

Prin analogie cu schema precedentă, avem acum :

a) *imagine ondulatorie* — neutronul produce un cîmp ; cîmpuil acţionează asupra protonului ;

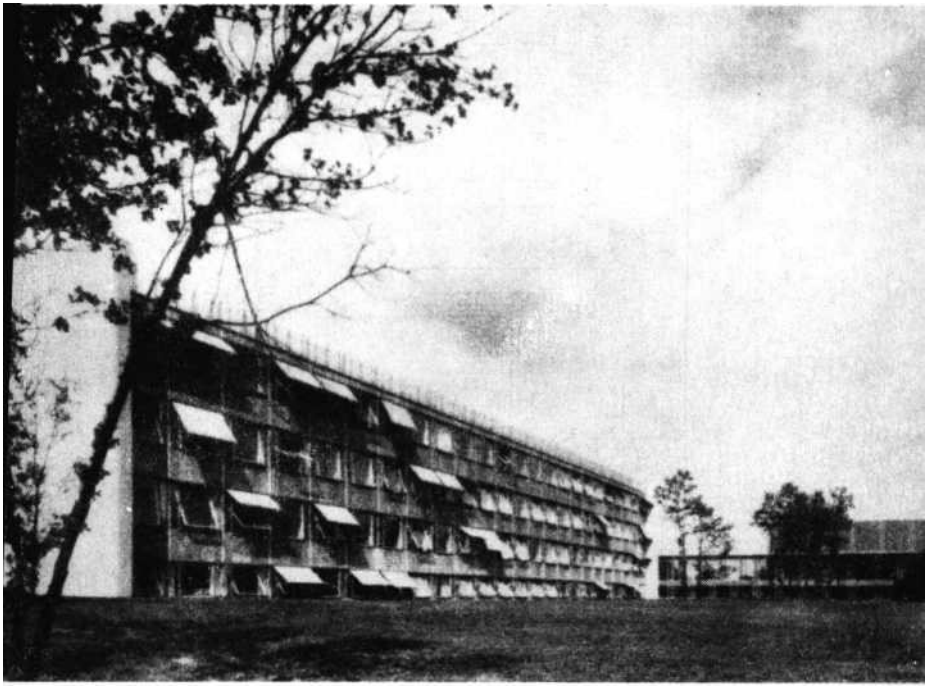
b) *imagine corpusculară* — neutronul emite un electron plus un neutrino ; electronul şi neutrinul sînt absorbiţi de către proton.

„Dacă interpretăm în felul acesta forţa dintre neutron şi proton, vedem că acţiunea acestei forţe este legată de un schimb de sarcini. Atunci cînd un neutron emite un electron şi un neutrino pentru a-şi exercita forţa, el schimbă sarcina şi şe transformă în proton. Şi invers : un proton care absoarbe un electron şi un neutrino se transformă în neutron. Se poate produce, de altminteri, o transformare absolut analogă, dacă protonul emite un pozitron şi un neutrino, care sînt absorbite de un neutron. Forţele nucleare sînt legate deci de un schimb de particule încărcate şi de aceea forţele de acest tip sînt denumite forţe de schimb. Ele sînt de un gen cu totul special şi sînt caracterizate prin faptul că acţiunea lor este legată de un schimb, de o schimbare de rol între cei doi parteneri. Din acest punct de vedere ele se deosebesc net de forţele electrice, părînd însă să aibă o înrudire strînsă cu forţele chimice (forţele de electrovalenţă). *Teoria cuantică a arătat clar ică forţele chimice sînt, în general, forţe de schimb. Şi în cazul lor se produce un schimb de sarcini"* [X] [XI].

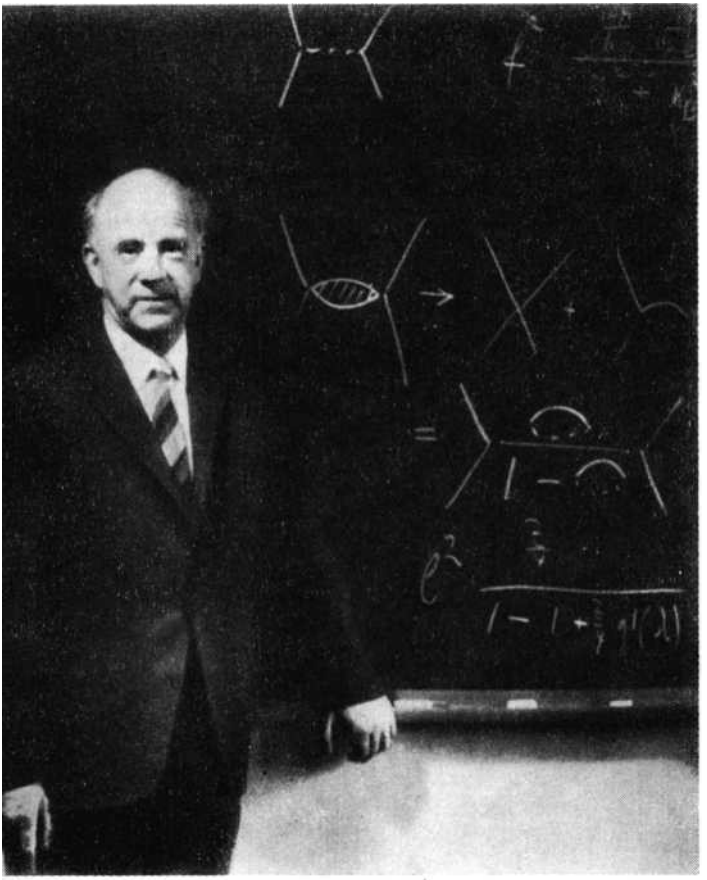
Molecula de hidrogen, de exemplu, este formată din doi atomi ai căror electroni reciproci nu mai pot fi atribuiţi — atunci cînd fuziunea s^a făcut — unuia sau celuilalt din aceşti atomi ; electronii conlucrează ca să

X *La physique du noyau atormique,* **p. 105.**

XI *Ibidem,* **p. 106.**



5. Institutul „Max Planck"



6. Profesorul Werner Heisenberg.

asigure stabilitatea moleculei. Energia de schimb are drept origine „principiul indiscemabilităţii“ electronilor în sistemul dublu H^a (fiecare electron al unui atom este comun celuilalt atom).

„Toate acestea — scrie Heisenberg — *nu sînt totuşi simple. Dacă analogia dintre forţele nucleare şi forţele electrice ar fi perfect valabilă, ar trebui să putem să facem previziuni teoretice asupra posibilităţii unei dezintegrări* Ş *exact în modul folosit pentru calculul probabilităţii emisiei fotonilor de către învelişul electronic. Pentru învelişul electronic în stare excitată, există în fiecare moment o probabilitate dată de emisie a fotonului. Cuvintele „probabilitate dată“ au următoarea semnificaţie. în limbajul ondulatoriu : mişcarea continuă a electronului produce o undă care se propagă în spaţiu. In limbaj de particule : există în fiecare moment o probabilitate dată pentru emisia unui foton. Aceste două reprezentări sînt legate prin faptul că probabilitatea este dată de intensitatea undei emise. Cu cît unda este mai intensă, icu atît mai mare este probabilitatea şi cu atît mai scurtă existenţa în stare excitată ; existenţa medie a acestei stări excitate depinde deci de amplitudinea oscilaţiei electronului. Viaţa medie a unei dezintegrări ar trebui să depindă, prin analogie, de intensitatea radiaţiei ondulatorii emise de nucleu. Dacă se face însă calculul, se observă că mediile rezultate sînt mult mai scurte decît cele date de observaţie” *.*

Acest dezacord dintre teorie şi practică a condus direct la ipoteza mezonilor.

Cîteva reguli

Interacţiunea dintre doi nudeoni depinde nu numai de distanţa lor reciprocă, ci şi de vitezele lor unul faţă de altul (sau unii faţă de alţii), precum şi de direcţia relativă şi de rotaţia lor.

[1] *La physique du noyau atomique,* p. 108.

Această interacţiune se face pe baza cîtorva reguli stricte. între doi protoni din cadrul aceluiaşi nucleu, cîmpul electromagnetic va interacţiona în sensul că, în conformitate cu legea lui Coulomb, protonii se vor respinge cu atît mai puternic, cu cît vor fi mai apropiaţi unul de altul. Faptul că nu se îndepărtează cu totul unul de altul se explică prin aceea că atracţia exercitată de cîmpurile lor nucleare este mai puternică decît respingerea exercitată de cîmpul electromagnetic. Acest fenomen nu se produce însă, aşa cum am văzut mai sus, decît între limite foarte reduse (la distanţe de 1 fermi sau IO^{-13} cm). La o distanţă reciprocă de una sau două raze nucleare, protonii se atrag de 40 de ori mai tare decît se resping. Dacă însă distanţa dintre ei creşte numai de patru ori, forţele nucleare de atracţie şi forţele electromagnetice de respingere se echilibrează.

După unii teoreticieni, la o distanţă mai mică de 0,5-IO^{-13} cm,cîmpul nuclear ar deveni brusc repulsiv, aşa cum se întîmplă cu cîmpul electromagnetic în ceea ce-i priveşte pe protoni ; repulsia câmpului nuclear s-ar aplica însă şi neutronilor.

Este uşor de înţeles că dacă cîmpul nuclear acţionează între doi neutroni sau între un neutron şi un proton, fără ca repulsia electromagnetică să intervină şi ea, forţa cîmpului nuclear este cu atît mai intensă. Nucleul nu-i însă un „amalgam", ci o „structură în vibraţie". Dacă cîmpul nuclear ar fi cu atît mai intens, cu cît nudeonii s^ar apropia mai mult, aceştia s-ar „lipi" literalmente unul de altul, fiindcă, începînd cu hidrogenul, în limitele nucleului există întotdeauna cel puţin un neutron de fiecare proton. Deoarece această „lipire” nu se produce, trebuie să admitem existenţa fenomenului repulsiv despre care s-a vorbit mai sus.

Modelul „picăturii de lichid"

îi datorăm lui Heisenberg mai multe teorii asupra structurii nucleelor, structură strîns legată de repartiţia neutronilor în nuclee.

Sîntem în posesia a două rezultate experimentale, spune, în rezumat, Heisenberg : egalitatea energiei de legătură pe particulă, pentru toate nucleele, şi „proporţio- nalitatea“ aproximativă dintre volumul nucleului şi nu- măirul particulelor. Se poate conchide că protonii şi neutronii sînt repartizaţi în nudeu aproape peste tot cu aceeaşi densitate. Dacă lucrurile s-ar petrece altfel, energiile de legătură ar fi diferite în diversele părţi ale nu- oleului, precum şi de la un nucleu la altul. „Proporţiona- litatea" dintre volum şi numărul particulelor mai arată că această densitate este aceeaşi pentru toate nucleele, cu excepţia primelor elemente din tabloul periodic, adică a oelor mai uşoare. Putem vorbi deci de o materie nucleară, făcută dintr-un amestec de protoni şi de neutroni şi avînd pretutindeni aceeaşi densitate. Singura diferenţă care intervine pînă la un anumit grad de la un atom la alt atom, este raportul dintre numărul neutronilor şi numărul protonilor.

Din toate acestea ar rezulta, după Heisenberg, o asemănare între un nucleu atomic şi o picătură de lichid. La fel după cum se pot forma, plecînd de la molecule de apă, picături de mărimi diferite, tot aşa din protoni şi neutroni s-ar putea forma „picături de materie nucleară", de mărimi diverse. Aceasta înseamnă că există nuclee *atomice diferite.*

Modelul picăturii de lichid se bazează, în esenţă, pe faptul că, în nucleu, nudeonii aflaţi la periferia sistemului — ca şi moleculele aflate la periferia celuilalt sistem care este picătura de lichid —nu sînt legaţi decît parţial de ceilalţi nucleoni. Rezultă că — aşa cum se întâmplă şi cu moleculele care constituie picătura lichidă — legătura lor este a *priori* mai puţin puternică decît aceea a nudeonilor din interiorul nucleului.

Tensiunea superficială a unei picături de apă, de exemplu, se datoreşte acestui fenomen. Anumite considerente energetice, care se reîntâlnesc atunci cînd este vorba de nucleu, permit să se explice, pe de altă parte, de ce picătura ia o formă aproximativ sferică sub influenţa tensiunii superficiale : energia de suprafaţă a unei picături este proporţională cu mărimea acestei suprafeţe **67** şi tinde, prin urmare, să-i reducă la maximum dimen

siunile. Ar trebui admisă şi pentru nuclee existenţa unei tensiuni superficiale analoge. Datorită energiei de legătură mai slabe a particulelor de la suprafaţă, energia totală de legătură, ca şi energia de legătură medie pe particulă, va fi micşorată. Ca şi la lichide, tensiunea superficială determină o formă sferică a nucleelor.

Există cu toate acestea o diferenţă esenţială între „materia nucleară" şi un lichid. Lichidul este constituit din molecule neutre, în timp ce nucleul conţine, pe lîngă neutroni, protoni purtători ai unei sarcini electrice. *„Trebuie deci* — conchide Heisenberg — *să comparăm nucleele cu nişte picături lichide conţinînd molecule încărcate, între care s-ar exercita forţe repulsive"* [XII].

în aceste condiţii, energia nucleelor ar fi, în esenţă, suma a trei termeni :

a) forţele nucleare (ponderea cea mai mare) ;
b) modificarea acestor forţe de către tensiunea superficială ;
c) respingerea electrostatică.

Cu toate că modelul numit al „picăturii de lichid" este — în numeroase cazuri — foarte comod pentru explicarea anumitor proprietăţi ale nucleului şi a anumitor aspecte ale structurii sale, el nu pare totuşi să corespundă realităţii, şi aceasta datorită mecanicii cuantice însăşi.

Este mai ales îndoielnic ca suprafaţa unui nucleu să fie tot aşa de net desenată ca şi suprafaţa unei picături de lichid. Aceasta înseamnă că există o probabilitate redusă ca densitatea maximă repartizată uniform în întregul volum al „sferei" presupuse (prin analogie cu sfera care reprezintă o picătură de lichid) să cadă brusc la zero, atunci cînd această limită este depăşită. Teoria cuantică arată, din contră, că densitatea materiei nucleare trebuie să scadă pînă la zero, începînd de la o anumită valoare constantă, numai pe o anumită pătură superficială ;

Mai există şi alte teorii : sferă cu contururi difuze în care densitatea materiei scade progresiv de la centru spire suprafaţă ; masă şi sarcină distribuite sub formă de straturi concentrice (nucleu comparat cu o ceapă) etc.

XII *La physique du noyau atomique,* p. 86.

Relaţii între protoni şi neutroni

Nucleul cel mai simplu este acela al atomului de hidrogen, fiindcă nu conţine decît un singur nucleon, care este protonul tuturor atomilor. Izotopii hidrogenului conţin un neutron (deuteriul) sau doi neutroni (tritiul). Dacă ne gîndim la acest fapt şi dacă ţinem seama că experienţa arată că deuteriul este stabil, în timp ce tritiul este radioactiv, nu putem decît să fim surprinşi *a priori* că trei cîmpuri nucleare şi o respingere electrostatică nulă nu determină (în cazul tritiului) o structură de o stabilitate maximă. Mai observăm, pe de altă parte, că în timp ce numărul protonilor creşte regulat cu o unitate, raportul un neutron pentru un proton (fără să ţinem însă seama de izotopi) este departe de a se menţine dincolo de oxigen. Repartiţia neutronilor în nuclee nu pare să asculte de nici o regulă, afară de aceea, totuşi, că raportul dintre numărul neutronilor şi numărul protonilor creşte o dată cu masa elementelor. în timp ce în nucleul atomului de sodiu, de exemplu, există 12 neutroni la 11 protoni, vom găsi 146 de neutroni pentru numai 92 de protoni în nucleul atomului de uraniu.

Şi totuşi, deşi are un număr aşa de mare de neutroni, uraniul este radioactiv...

Stabilitatea unui nucleu se datoreşte, în esenţă, mai multor factori, care au făcut obiectul unor studii complexe. Heisenberg a arătat că, exceptînd câteva nuclee uşoare, nucleele care conţin numere perechi de neutroni şi de protoni *(nuclee pare-pare)* sînt foarte stabile, în timp ce nucleele care conţin numere impare de neutroni şi de protoni sînt, din contră, cele mai instabile (nuclee *impar e-impare).* Nucleele *pare-impare* au o stabilitate mijlocie.

Ţinînd. seama şi de izotopi, avem, în stare naturală, numai 4 elemente cu nuclee impare-impare, pentru 108 nuclee pare-impare şi 159 de nuclee pare-pare.

Ce raţionamente l-au condus pe Heisenberg la aceste concluzii ? Există, după el, o „saturaţie a forţelor nucleare", care prezintă o analogie cu saturaţia forţelor de va- lenţă în legăturile moleculare.

într-adevăr, aşa cum ne învaţă chimia, forţele de valenţă, spre deosebire de forţele electrice, sînt saturate. De exemplu, în molecula de apă H-O-H(sau H_20), cele două valenţe ale atomului de oxigen (6 electroni în pătura cuantică cea mai exterioară — saturaţie 8) sînt saturate de către cei doi atomi de hidrogen, care cedează oxigenului unicul lor electron periferic pentru ca să O
formeze molecula clasică /\ în „accent circumflex", H H
astfel că nici un alt atom de hidrogen nu se mai poate fixa.

Forţele nucleare, spune în rezumat Heisenberg, au un caracter de saturaţie foarte asemănător cu acela al forţelor de valenţă. Un neutron poate fixa cel mult doi protoni, iar un proton cel mult doi neutroni. Dacă am vrea să reprezentăm acest lucru prin linii de valenţă, ar trebui să dăm protonului două linii îndreptate spre neutroni (tot aşa cum în bioxidul de carbon atomul de carbon fixează doi atomi de oxigen : O = C = O) şi neutronului două linii îndreptate spre protoni. Operaţia nu este cu totul exactă, fiindcă se neglijează forţele care se exercită între doi protoni sau între doi neutroni. Ea dă însă, într-o primă aproximaţie, o margine destul de corectă a lucrurilor.

Din proprietatea de saturaţie a forţelor nucleare s^ar putea trage, ne asigură Heisenberg, consecinţe importante privitoare la stabilitatea nucleelor : numărul 2 şi toate numerele pare vor juca în structura edificiului atomic un rol privilegiat. Dacă nucleele cu număr par de protoni şi cu număr par de neutroni sînt deosebit de stabile, aceasta este din cauză că toate valenţele sînt folosite. „Cazul acesta — precizează el — este, desigur, mai favorabil din punct de vedere energetic decît acelea în care din cauză că un număr de particule este impar — şi cu atît mai mult cînd ambele numere sînt impare — o valenţă (proton sau neutron, sau proton şi neutron în cazul impar-impar) rămîne neutilizată".

Mai există şi o altă cauză care face ca numărul 2 să fie un număr „privilegiat" pentru nuclee : principiul de excluziune al lui Pauli.

Principiul de excluziune al lui Pauli enunţă, în linii mari, că într-o stare staţionară dată nu este loc decât pentru o singură particulă. Atunci când ne referim la învelişul electronic al atomilor, o stare staţionară înseamnă o orbită dată a electronului. în limbaj ondulatoriu, aceasta înseamnă, de asemenea, o vibraţie staţionară dată şi o direcţie dată a spinului. Referindu^ne în continuare la electroni, dacă ţinem seama de faptul că momentul cinetic al,particulei (spinul) poate fi fie pozitiv, fie negativ, adică orientat într-un sens sau în sensul opus, trebuie să admitem, împreună cu Pauli, că pe o aceeaşi orbită staţionară a învelişului electronic nu pot exista mai mult de dai electroni avînd spinuri opuse.

Acelaşi raţionament este valabil şi pentru nucleoni. Nucleonii au şi ei spin, iar într-un nucleu nu pot exista pe fiecare orbită staţionară mai mult de doi neutroni sau de doi protoni (ale căror spinuri sînt opuse). Concluzia lui Heisenberg se aplică din nou : situaţia cea mai favorabilă din punct de vedere energetic se prezintă atunci cînd posibilităţile oferite sînt folosite la maximum, aşa cum este cazul nucleelor cu număr par-par.

Transmutaţiile nudeonilor

îi revine lui Heisenberg meritul de a fi înlăturat obiecţia serioasă care a fost făcută după descoperirea neutronului în legătură cu emisiile adevărate sau aparente de electroni ale nucleelor. După cum vă reamintiţi, se punea întrebarea : de unde vine emisia P dacă, înainte de dezintegrare, nucleul radioactiv nu conţine electroni ?

Heisenberg a arătat că emisiile P sînt rezultatul unei transmutaţii, ca să-i spunem aşa „internă", spre deosebire de transmutaţia prin radioactivitate a, în care nucleul atomului pierde efectiv doi protoni şi doi neutroni sub forma unui nucleu de heliu (helion).

Atunci aînd o particulă a părăseşte un nucleu, explică **71** el în rezumat, duce cu ea nu numai masa, ci şi sarcina sa. Nucleul pierde, fireşte, şi această masă şi această sarcină : numărul său de masă scade cu patru unităţi, iar numărul de sarcină cu două unităţi.

O particulă (3 are o masă cu totul neînsemnată, care, scăpînd, nu modifică aproape de loc numărul de masă al nucleului. Din contră, particula are întotdeauna o sarcină, fiindcă este vorba de un electron. Rezultă că dacă numărul de masă nu este afectat de emisia P, nu se în- tîmplă acelaşi lucru şi cu numărul de sarcină. Dacă se emite o particulă P (adică de fapt un electron din lumea noastră sensibilă sau un negaton (e^-), nucleul se îmbogăţeşte cu o sarcină pozitivă, astfel că atomul trece în căsuţa care urmează imediat după aceea pe care o ocupa mai înainte în *tabloul lui Mendeleev.* Din contră, atomul va da înapoi cu o căsuţă, dacă printr-un proces P^+, adică prin emisia unui electron pozitiv sau pozitron (e+), el pierde efectiv o sarcină.

Experienţa arată că neutronul se poate transforma în proton, emiţînd un electron (e^-), plus un neutrino, în timp ce protonul se poate preschimba în neutron, prin emisia unui pozitron (e+), plus un neutrino.

Heisenberg a atras în mod special atenţia că aceasta nu înseamnă că un neutron *este lp + le~ +* (simbolul unui neutrino), ci numai că, referindu-ne la acelaşi exemplu, radioactivitatea P trebuie să se scrie *n = lp+le + lv.*

în realitate, procesele radioactive sînt rezultatele complexe ale stabilizării elementelor. în radioactivitatea naturală a uraniului 238 vedem cum elementul radioactiv se transformă, după o cascadă de transmutaţii, în plumb stabil (P 206). Prima etapă a acestor transmutaţii este o emisie a din care se naşte toriu radioactiv, iar penultima este o transmutaţie, prin radioactivitate P, a bis- mutului radioactiv, provenit din radiu, în poloniu.

Radioactivităţiie a sau P şi a şi p (care sînt cele mai numeroase) sînt însoţite întotdeauna de o a treia formă de radioactivitate, şi anume de emisia radiaţiilor y, care reprezintă energie „pură“ ; un nucleu poate, de asemenea, să nu dea însă loc decît unei radioactivităţi a.

Trebuie să mai subliniem, pentru a termina acest

paragraf, că, în anumite condiţii energetice, un nucleu 72 poate captura un electron din pătura sa electronică cea mai internă. Rezultatul va fi un proces radioactiv avînd drept origine dispariţia electronului, a cărui sarcină se va adăuga unui proton, care se va transforma în neutron ; va avea loc, prin urmare, o transmutaţie care va retrograda atomul cu o căsuţă în tabloul lui Mendeleev.

Mezoni grei şi ,,particule stranii**

Oricît de complexă ar putea părea astăzi fizica modernă (fără să excludem de loc interpretarea ei probabilistă) părea oarecum „simplă“ acum cîţiva ani, înainte de descoperirea — mai întîi în radiaţia cosmică şi apoi drept rezultat al interacţiunilor de mare energie din acceleratoarele uriaşe de particule — a unor „particule care nu-şi găsesc locul" în reprezentările noastre actuale, fie ele numai teoretice.

Acesta a fost, în primul rînd, cazul mezoniior *grei,* denumiţi K, ale căror mase sînt aproape egale cu 970 de mase electronice. Au apărut apoi *hiperonii* Csi, Sigma, Lambda, a căror listă n-a fost, desigur, încă închisă, cu mase superioare celor ale nucleonilor :

(3:2600; S : 2340 ; A: 2200).

Toate aceste particule au, sau ar trebui să aibă sarcini pozitive sau negative, sau să fie neutre. Toate iau deci, la fel ca celelalte particule, forma „materie" (spunem „cu energie pozitivă") sau forma „antimaterie" („cu energie negativă") şi ele pun probleme insolubile deocamdată ; din această cauză sînt numite adesea „particule stranii".

După dl. Louis de Broglie, mecanica cuantică ar fi responsabilă — cel puţin în parte — de imposibilitatea în care se află fizicienii de a elabora, în situaţia actuală, o teorie coerentă care să încorporeze, pentru a le explica, 73 aceste particule cu viaţa întotdeauna foarte scurtă şi

„fără nici un uz“ în reprezentările noastre clasice. El scrie[XIII] :

„Unul din motivele care face, la ora actuală, deosebit de dificilă elaborarea unei teorii generale a particulelor, care să permită justificarea clasificării şi prevederea proprietăţilor acestor particule, este, după cum mi se pare mie, orientarea pe care a luat-o de aproape treizeci de ani microfizica cuantică, orientare care a făcut-o să nege localizarea permanentă a particulelor în spaţiu şi, în consecinţă, să nege posibilitatea de a şi le reprezenta ca obiecte deplasîndu-se în spaţiu în decursul timpului.

Adoptînd această poziţie, fizica teoretică a renunţat să-şi facă o *«imagine» a particulelor şi să le atribuie o «structură», fiindcă a atribui o structură unui lucru, înseamnă în mod necesar, a distinge în el părţi care au în spaţiu anumite poziţii relative unele în raport cu celelalte.*

închistaţi astfel în formalismul «mecanicii cuantice», cea mai mare parte a teoreticienilor care s-au ocupat de problema particulelor s-au lăsat conduşi fie numai de rezultatele experimentale, fie numai de analogii abstracte. Pentru a caracteriza particulele, au fost obligaţi să introducă, pe lingă noţiunile clasice de masă, de sarcină electrică şi de spin, cunoscute mai dinainte, noţiunile noi de «spin izotopic», de «număr barionic», de «hipersarcină» şi de «număr de stranietate».

Aceste diverse caracteristici noi ale particulelor au fost introduse treptat, într-un mod empiric şi, ca să spunem aşa, sub presiunea experienţei, iar introducerea a fost făcută sub formă de postulate, în aparenţă arbitrare, fără ca noilor mărimi să li se poată atribui o semnificaţie fizică concretă. Desigur că o bună parte a rezultatelor furnizate de aceste încercări teoretice foarte formale au o valoare de netăgăduit şi că ele vor trebui regăsite, mai mult sau mai puţin adaptate, în reinter- pretările viitoare. Sub forma care li se dă de obicei însă semnificaţia lor profundă rămîne enigmatică.

XIII *Sur Ies sentiers de la science*, p. 331.

De altminteri, experienţele recente par să demonstreze din ce în ce mai accentuat că particulele au o structură şi că interacţiunile lor nu pot fi explicate dacă le reducem doar la nişte centre de forţă punctiforme. Or, 1...1 nu mi se pare de loc posibil să restabilim ideea de structură internă a particulelor, fără să revenim la ideea că particula este un obiect localizat în spaţiu..

Despre noţiunile de paritate şi de elicitate

Heinsenberg nu a neglijat contribuţia celor mai recente lucrări, care lasă să se creadă că particula are efectiv „o structură", fapt care va conduce poate într-o zi la ideea că particula însăşi este „un sistem de particule". „Realitatea" este însă, desigur, mai greu de înţeles, fiindcă, ne întrebăm, cum am putea să ne imaginăm nişte particule a căror masă ar fi şi mai mică decît aceea a unui electron ?

Descoperirea de către un grup de fizicieni chinezi care lucrează în S.U.A. (Yang şi Lee, care au imaginat experienţa, şi d-na Woo, care a realizat-o) a neconservării parităţii în interacţiunile slabe i^a surprins şi pe ei, cum i-a surprins pe toţi specialiştii.

Legea conservării parităţii derivă din principiul conform căruia în spaţiu nu există direcţie privilegiată. Această legitate mai este denumită şi „teoria oglinzii", fiindcă ea priveşte orice sistem fizic, ale cărui proprietăţi rămîn neschimbate, fie că este „el însuşi", fie că este „propria sa imagine într-o oglindă".

Pînă în anul 1957, totul milita în favoarea intangibilităţii acestui principiu perfect verificat (sau părînd perfect verificat) în domeniul cîmpurilor nucleare şi electromagnetice. Din cauza uriaşelor dificultăţi tehnice, verificarea n-a putut fi însă făcută şi pentru cîmpul interacţiunilor slabe de care depind în special dezintegrarea p şi dezintegrările în cascadă ale imezonilor.

Operînd pentru prima dată pe cobalt radioactiv, răcit la o temperatură apropiată de zero absolut şi orientat de cîmpuri magnetice intense, echipa chineză a dovedit în mod incontestabil că nucleele de cobalt emit electroni într-o direcţie preferenţială în raport cu

cîmpul care li se impune. Experienţele ulterioare au confirmat din plin această observaţie, care a fost reînnoită asupra miuonilor (produse de dezintegrare a mezonilor tc.) şi apoi asupra neutrinilor.

Dat fiind faptul că principiul parităţii se conservă, după cîte se pare, în interacţiunile tari (anumite experienţe care tind să indice că lucrurile nu s-ar petrece chiar aşa au fost contestate), efectul de asimetrie poate că n-ar trebui atribuit structurii spaţiului-timp, ci particulei însăşi- Pînă la noi cercetări, universul ar rămîne simetric, în sensul că n-ar exista, în general, o direcţie privilegiată în spaţiu : n-am putea spune sus, jos, la dreapta sau la stînga, *decît referindu-ne la ceva.*

Noţiunea de *elicitate* (conform căreia particula s-ar propaga în spaţiul-timp în felul unei elice de avion), la care s-a făcut apel acum cîţiva ani, s-a precizat : aparenţa particulei, considerată clasic ca sferică, a fost preschimbată într-o imagine cilindrică şi apoi în aceea a unui şurub (screwon-ii anglo-saxonilor).

Puţin după ce paritatea a fost dată peste cap în interacţiunile slabe, s-a demonstrat, prin experienţe de mare fineţe, că, aşa după cum prevedea teoria, spinul electronului se plasează de-a lungul axei propriului său impuls, şi aceasta cu atît mai exact, cu cît viteza este mai mare. S-a putut dovedi că electronul relativist *(e~)* se roteşte spre stînga faţă de direcţia pe care o are. Pozitronul *(e^+),* replica pozitivă a electronului, are, în aceleaşi condiţii de propagare, o rotaţie spre dreapta.

Se pare că s-a stabilit următoarea regulă : particulele de materie (sau cu „energie pozitivă") au rotaţie spre stânga ; particulele de antimaterie (sau cu „energie negativă"), au rotaţie spre dreapta. în acest fel, spinul unui neutrin este orientat întotdeauna dinspre înainte spre înapoi în raport cu sensul lui de înaintare, iar acela al unui anti-neutrdn dinspre înapoi spre înainte.

Chiar dacă ar exista excepţii, n-ar fi poate prea arbitrar să se sugereze că asimetria în procesele atomice, nucleare şi subnucleare, conduce la ideea exprimată, de exemplu, de fizicianul sovietic Landau, despre o „structură cristalină" a universului. Se înţelege că acest ter- men este numai o interpretare liberă a fenomenelor, bazată doar pe apelul la noţiunea de hemiedrie, caracteristică oristalelor noastre

comune.

Cîmp unic şi protomaterie

La începutul anului 1958, marele public vedea tipărită pe prima pagină a ziarelor următoarea formulă sibilină, despre care se afirma că este „revoluţia secolului[1]" şi opera unui fizician german cu numele de Werner Heisenberg :

$$Yv\ \hat{}\text{-}'1' \pm \quad (\hat{}^{+}\ YgY,\hat{}\ ) = o.$$

Telegramele vorbeau despre o „teorie unitară" şi, în lipsă de informaţii mai ample, numeroşi comentatori, printre care şi semnatarul acestor rînduri, evocau încercările făcute în acest sens de Einstein. Atitudinea noastră era scuzabilă, fiindcă, ceva mai tîrziu, la Congresul de fizică al R. D. Germane, Heisenberg însuşi atrăgea atenţia auditoriului asupra complexităţii comunicării sale şi mergea pînă acolo încît să declare că specialiştii trebuiau să dea dovadă de răbdare şi să nu accepte termenii comunicării, fără o pregătire preliminară.

In Franţa, fizicianul Andre Georges publicase între timp, în „Les nouvelles litteraires", o punere la punct magistrală, din care extragem esenţialul :

„Incorporînd electromagnetismul, după gravitaţie, în teoria sa, Einstein încearcă să reducă în final toate fenomenele materiale la un «cîmp generalizat». Termenul «teoria dmpului unitar» este folosit curent pentru ta denumi această încercare supremă a ilustrului fondator al relativităţii. Doctrina lui a ignorat însă sistematic cuantele şi nici nu a căutat să ţină seama în mod explicit de particulele atomice. Fizica actuală a extins mult lista acestor particule, astfel că la electronul şi protonul tradiţional au trebuit adăugaţi neutronul, neutrinul, precum şi nenumăraţii mezoni sau alte particule denumite «stranii» *fără să mai vorbim de antiparticule. Acum, de curînd, descoperirea celor doi tineri chinezi, Yang şi Lee, care a arătat că există o anumită disimetrie la scara subato- mică (şi care a fost denumită «neconservarea parităţii»), a venit*

să complice şi mai mult lucrurile. Unul din obiectivele urgente ale teoriei fizice pare să fie deci acela de a ţine seama de această diversitate, de a concentra în măsura posibilului şi de a proceda la acea unificare caracteristică oricărei teorii demne de acest nume.

Aceasta este ceea ce caută dl. Heisenberg, împreuna cu dl. Pauli, prin aceste poziţii noi, care nu corespund de loc cu acelea ale lui Einstein. Aceste poziţii se referă în primul rînd la particule, la comportarea şi la interacţiunile lor, căutînd să se preocupe de masele lor atît de- diferite (acest obiectiv al teoriei este important) şi să includă un număr cît mai mare de proprietăţi diferite- într-un acelaşi formalism matematic, formalism care este, de altminteri, mai mult «gen Dirac», decît «gen Einstein»".

într-adevăr, Heisenberg foloseşte primul termen al ecuaţiei lui Dirac, *„legea clasică a mişcării în domeniul infinitului mic".* O variantă a acestei legi a fost propusă de sovieticul Ivanenko în 1938. Ea ţinea seama de interacţiunea particulelor (ecuaţia lui Dirac este liniară), fără să aducă însă soluţia unei probleme care urma să se agraveze o dată cu descoperirea „particulelor stranii[41].

Heisenberg a amintit în mai multe rînduri că ecuaţia lui trebuia să mai sufere încă îmbunătăţiri. Este foarte posibil ca el să se fi apropiat de acest ţel la ora cînd sînt scrise aceste rînduri. Un lucru este sigur, şi anume acela că bazele nu se vor schimba. După descoperirea hipe- ronilor, particule cu mase superioare maselor nucleondlor, Heisenberg şi-a exprimat părerea că, în conformitate cu relativitatea, enorma energie cinetică care se dezvoltă în timpul ciocnirilor, în radiaţia cosmică şi în acceleratoarele gigantice de particule, poate să faciliteze formarea acestor particule cu o viaţă extrem de scurtă, care nu sînt un produs al dezintegrării nucleonilor din cauza ciocnirilor, ci rezultatul unor transformări complexe cu caracter relativist.

Aceste transformări ar trebui să poată fi explicate matematic, în acelaşi fel în care existenţa antimateriei a fost *cunoscută matematic* înainte ca ea să fi fost obser-

vată fizic. Din cele două forme de materie (una din ele fiind antimateria celeilalte din punctul de vedere al cîm- pului electric şi magnetic, şi poate din punctul de vedere al tuturor câmpurilor), una este „cu energie pozitivă", denumită aşa fiindcă este forma de materie din care este construită lumea noastră şi pe care o putem observa, iar oealaltă „cu energie negativă". Pentru a le distinge, le putem simboliza prin +1 şi —1.

Heisenberg a sugerat că în afară de cele două constante universale pe care le cunoaştem : *h* — constanta lui Planck, şi c — viteza luminii în vid, mai există (şi rămâne să fie descoperită) o a treia constantă universală —*l.*

„Lucrul acesta — spune el — *este evident din motive pur dimensionale. Constantele universale determină scara naturii, cantităţile caracteristice care nu pot fi reduse la altele. Pentru un ansamblu complet de unităţi este nevoie de cel puţin trei unităţi fundamentale. Această necesitate poate fi foarte uşor constatată din sistemele convenţionale, cum este sistemul CGS (centimetru, gram, secundă) : o unitate de lungime, o unitate de masă şi o unitate de timp sînt suficiente pentru ca să formeze un ansamblu complet. Este însă întotdeauna nevoie de cel puţin trei. Unităţile de mai sus ar putea fi înlocuite prin unităţi de viteză şi de masă sau prin unităţi de lungime, de viteză şi de energie etc., dar în fiecare caz este nevoie de cel puţin trei unităţi fundamentale. Or, viteza luminii şi constanta lui Planck nu ne pun la dispoziţie decît două din aceste unităţi. Trebuie să existe o a treia unitate, şi numai o teorie care ar conţine această a treia unitate va putea să determine masele şi alte proprietăţi ale particulelor elementare. Judecind după cunoştinţele noastre actuale despre aceste particule, modul cel mai potrivit de a introduce această de a treia constantă ar fi acela de a considera o lungime universală ipotetică, a cărei valoare ar trebui să fie de circa* 10^{-13} *cm, adică ceva mai mică decît raza nucleelor atomice uşoare. Atunci cînd formăm, pe baza acestor trei unităţi, o expresie care corespunde ca dimensiuni unei mase,*

valoarea ei are ordinul de mărime a roaselor particulelor elementare"[1].

După autorul sovietic V. Keler, Heisenberg a folosit încă din 1953 mărimea liniară specială l = 10- [13] cm. Această mărime imaginară poate fi pozitivă sau negativă la pătrat, adică poate avea forma unei mărimi reale multiplicate cu numărul *i ==y/* —1. Pătratul acestui număr, ne reaminteşte Keler, este egal cu —1, iar—1 înmulţit cu indiferent ce număr pozitiv îl face să devină negativ. Postulînd, împreună cu Markov, existenţa unei protomaterii ipotetice, el adaugă : *„Numărul* i *nu este cel mai potrivit pentru ca să caracterizeze «protomateria» : ridicat la pătrat, el nu dă decît o valoare negativă, în timp ce mărimea fictivă a lui Heisenberg ridicată la pătrat se poate transforma, fără nici o deosebire, intr-un număr mai mare decît zero sau mai mic decît zero"* k

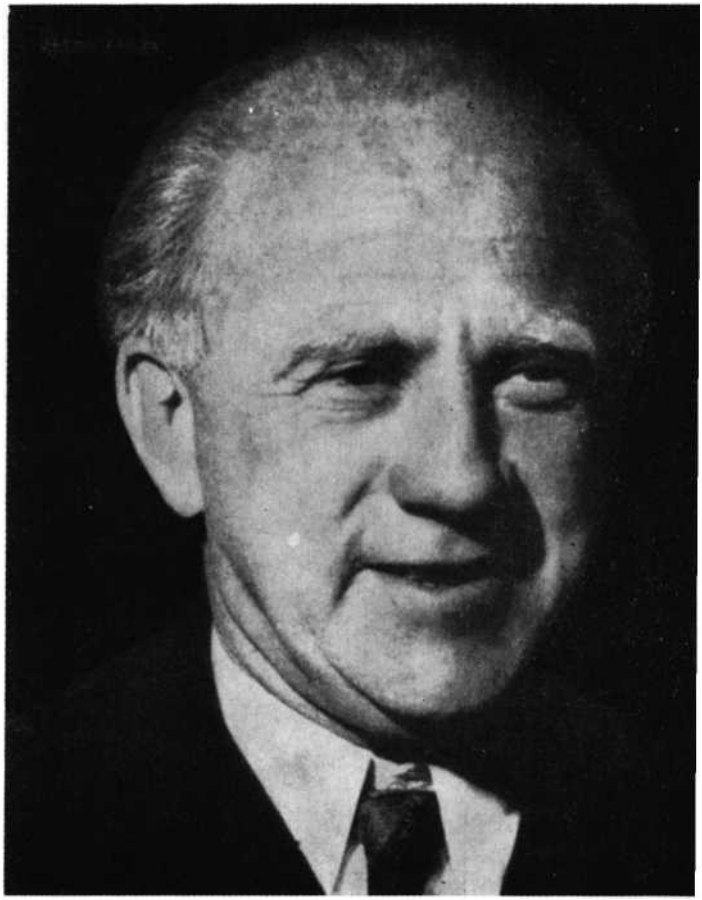
După concepţia lui Heisenberg, protomateria nu este făcută din particule mai mici decît particulele fundamentale, pe care le-ar „constitui[11], aşa cum nucleonii constituie nucleul atomului. După Keler, Heisenberg ar fi descris astfel protomateria : *„Protomateria ar fi un cîmp fizic unic, în acelaşi timp continuu şi discontinuu. Continuu fiind, el s-ar extinde în întregul univers, inclusiv în vidul din spaţiul liber al particulelor. Universul, lumea infinitului mare, n-ar fi decît un ocean infinit de «protomaterie». Fiind în acelaşi timp discontinuu, cîmpul fizic unic ar fi format din cuante, porţiuni de «protomaterie» indivizibile"* [XIV XV].

Această schemă ar fi, „fireşte[11], conţinută în ecuaţia reprodusă mai sus.

Se zice, pe de altă parte, că Heisenberg ar fi declarat că datorită celei de-a treia constante universale (lungimea elementară), fizicienii ar trebui să se aştepte la *„fenomene cu un caracter calitativ nou"* atunci cînd se vor apropia, în timpul experienţelor, de regiuni de spaţiu- timp mai mici decît nucleele. *„In special* — remarcă el — *în aceste regiuni mai mici ar putea să apară fenomenul inversării timpului, care, pînă în prezent, nu a fost evocat decît din consideraţii teoretice asupra posibilităţii matematice a acestei inversări".*

XIV *L'Univers des physiciens,* p. 190.

XV *Ibidem,* p. 186.



7. Werner Heisenberg.

8. Werner Heisenberg la biroul său.

Şi el conchide :

„Toate aceste probleme privesc însă cercetările viitoare în fizica atomică. Se poate spera că eforturile combinate ale experienţelor în regiunea de foarte înaltă energie şi analiza matematică să conducă într-o zi la o înţelegere completă a unităţii materiei".

Pentru el, expresia „înţelegere completă" înseamnă că formele materiei, *în sensul filozofiei lui Aristotel* (Heisenberg este acela care-şi dă osteneala să sublinieze acest lucru), *„ar apărea drept rezultate ale soluţiilor unui ansamblu matematic închis, care ar reprezenta legile naturale ale materiei".*

Notă. în ecuaţia reprodusă la începutul acestui paragraf, simbolurile + (psi) mici reprezintă materia ; y (gamma) sînt funcţii matematice ; *l* este constanta universală, numită „lungime elementară[1]' ipotetică. Celelalte constante, *h* şi c sînt incluse în mod indirect.

Fizică şi filozofie

Ar fi inexact să se pretindă că mecanica cuantică este o filozofie. Şi totuşi, este sigur că teoriile cuantice duc la dezvoltări neprevăzute în domeniul filozofiei. Aceste dezvoltări au devenit evidente încă de la descoperirea cuantei de acţiune în procesele energetice la nivelul structurilor atomice şi ele s-au impus şi mai mult atunci cînd s-a făcut dovadă că radiaţia poate căpăta, în anumite condiţii experimentale, un aspect corpuscular, în timp ce oorpusculele pot lua, la rîndul lor, în alte condiţii experimentale, un aspect ondulatoriu.

Mecanica ondulatorie a lui Louis de Broglie a ratificat acest dualism, care reprezintă un răspuns echivoc dat de natură întrebărilor puse de om. Totuşi, pentru autorul mecanicii ondulatorii, ţelul suprem rămîne cel clasic : acela de a *încerca* continuu să ofere o reprezentare corectă a fenomenelor, în spaţiu şi în timp. Preocuparea pentru o reprezentare concretă nu a fost părăsită nici o clipă.

De la introducerea mecanicii cuantice *şi chiar din cauza răspunsurilor date de natură omului,* atunci cînd acesta i-a pus întrebări în microcosm, preocuparea pentru o asemenea reprezentare nu mai intervine, fiindcă o reprezentare exactă a *fenomenelor* este socotită *imposibilă* şi pentru că *nu ar exista o „lume în sine“. „Dacă ne este permis să vorbim de o imagine a naturii conformă ştiinţelor exacte ale timpului nostru* — spune Heisenberg — *ar trebui să înţelegem prin ea nu atît imaginea naturii însăşi, ci imaginea raporturilor*

noastre cu natura"[1].

Cu toate acestea, mecanica cuantică nu derivă nicidecum, într-o primă aproximaţie, din preocupări metafizice. Din contră, Born, Heisenberg şi Jordan, adică acei ce au oreat, sub impulsul lui Bohr, mecanica cuantică, au înţeles să descrie, în primul rînd, *faptele* microcos- mice, tot aşa după cum Einstein a înţeles să descrie prin relativitatea restrînsă şi apoi prin relativitatea generalizată *faptele* macrocosmice.

Abandonarea „mărimilor" clasice a fost impusă de existenţa constantei lui Planck *(h),* care joacă în domeniul microcosmului un rol echivalent aceluia jucat de constanta „c", viteza luminii în vid, în domeniul macrocosmului. într-adevăr, nu există nici o îndoială că dualismul undă-particulă este strîns legat de cuanta de acţiune. *„Au fost zadarnice toate încercările* — spune Jordan — de a *găsi pentru aceste fapte o explicaţie bazată pe ideile obişnuite* ţ«a explica» nu înseamnă oare *a ne raporta la ceva deja cunoscut ?).* Am fost deci obligaţi să ne resemnăm a admite că ne găseam în prezenţa *a ceva nou, care scăpa complet înţelegerii cu ajutorul ideilor cunoscute şi obişnuite* (sublinierea este făcută de noi)" [XVI XVII].

Deşi primit cu rezervă, *din cauză că implica anumite renunţări în domeniul reprezentărilor concrete,* formalismul cuantic nu putea să nu forţeze totuşi admiraţia specialiştilor. După viguroasa controversă care l-a opus şcolii de la Copenhaga, în cursul faimosului Congres Solvay, ţinut la Bruxelles în 1927, Albert Einstein scria : *„Trebuie să recunoaştem că noua concepţie teoretică nu-şi are izvorul într-un avînt al imaginaţiei, ci în forţa irezistibilă a faptelor experimentale.*

Toate încercările de a reprezenta direct, printr-un model de spaţiu-timp, particula şi caracterul ondulatoriu, care se manifestă în fenomenele luminoase şi materiale, s-au terminat pînă-n prezent printr-un

---

XVI *La nature dans la physique contemporaine,* p. 33.

XVII *La physique et le secret de la vie organique,* p. 164.

eşec. După cum a arătat într-un mod convingător Heisenberg, o decizie oarecare privitoare la o structură riguros determinată a

naturii este riguros exclusă din punct de vedere empiric, din cauza structurii atomice a aparatelor noastre experimentale. Nu este deci de loc probabil ca eventuale informaţii viitoare să poată sili fizica să părăsească actuala fundamentare teoretică statistică în favoarea unei fundamentări deterministe, care să studieze realitatea fizică, intr-un mod. direct. Logic, problema pare să ofere două posibilităţi, între care putem să alegem, în principiu. In cele din urmă, alegerea va fi hotărîtă de acel mod de descriere care va permite — logic vorbind — fundamentarea cea mai simplă. In prezent, nu posedăm o teorie deterministă care să ne permită să descriem direct evenimentele în sine şi în armonie cu faptele 'reale"[XVIII].

În remarcabila sa prezentare, *Fizica nouă şi cuantele,* dl. Louis de Broglie afirma la rîndul său, în 1937, următoarele : *„De-abia acum începem să putem măsura importanţa revoluţiei înfăptuite. Fidelă idealului ei cartezian, fizica clasică ne prezenta universul ca un mecanism imens, care putea fi descris cu o precizie totală prin localizarea părţilor sale în spaţiu, şi prin modificarea lor în decursul timpului, mecanism a cărui evoluţie putea fi prevăzută, în principiu, cu o exactitate riguroasă atunci cînd ne stăteau la dispoziţie un anumit număr de date asupra stării lui iniţiale. Această concepţie se baza însă pe anumite ipoteze implicite, care erau admise aproape fără să ne dăm seama. Una din aceste ipoteze era aceea potrivit căreia cadrul spaţiului şi al timpului, în care căutăm, aproape instinctiv, să localizăm toate senzaţiile noastre, este un cadru perfect rigid şi determinat, în care orice eveniment fizic poate fi localizat, în principiu, în mod riguros, independent de procesele dinamice care se desfăşoară în el. In consecinţă, toate evoluţiile lumii fizice sînt reprezentate în mod necesar prin modificări de stări locale în spaţiu şi în decursul timpului. Din această cauză, în ştiinţa clasică mărimile dinamice — cum sînt energia şi cantitatea de mişcare — apar ca nişte mărimi derivate, construite cu ajutorul conceptului*

XVIII *Conceptions scientifiqu.es, morales et politiques,* p. 89.

de viteză, _ cinematica servind astfel drept bază pentru dinamică.

Cu totul altul este punctul de vedere al fizicii cuantice. Existenţa cuantei de acţiune implică intr-adevăr un fel de incompatibilitate între aspectul localizării în spaţiu şi în timp, şi aspectul evoluţiei dinamice. Fiecare din aceste aspecte poate fi folosit pentru descrierea lumii reale, fără să fie posibil însă a le adapta simultan, în toată rigurozitatea lor. Localizarea exactă în spaţiu şi timp este un fel de idealizare statică, care exclude orice evoluţie şi orice dinamism. Ideea stării de mişcare, luată în toată puritatea ei, este, din contră, o idealizare dinamică, contradictorie în principiu cu conceptele de poziţie şi de moment în timp. Descrierea lumii fizice nu poate fi făcută în teoriile ^cuantice decît folosind, mai mult sau mai puţin, una sau cealaltă din aceste două imagini contradictorii : ea rezultă deci dintr-un fel de compromis, iar faimoasele relaţii de incertitudine ale lui Heisenberg ne spun în ce măsură acest compromis ieste 'posibil[11] **.*

Comentatorii sovietici, ale căror critici au fost adesea necruţătoare iar cîteodată sistematice, convin să scrie : *„Mecanica cuantică actuală reprezintă un mare pas înainte. Ea a generalizat un material experimental enorm, ne-a dat posibilitatea să înţelegem numeroase fapte fizice care nu-şi găsiseră explicaţie prin legile fizicii clasice şi să prezicem fenomene noi. Mecanica cuantică a explicat numeroase legi importante [...]. în mecanica cuantică, proprietăţile materiei şi ale mişcării ei sînt explicate cu mai multă profunzime decît în fizica clasică, şi tocmai aceasta constituie baza succesului ei“* [XIX XX]. în aceeaşi revistă marxistă, I. P. Terleţki merge pînă acolo incit să susţină : *„Interpretarea mecanicii cuantice ca teorie a mulţimilor statistice, este în acord cu materialismul dialectic şi deschide fizicienilor domeniul inexplorat al proceselor cuantice elementare. Prin urmare, teoria cuantică a mulţimilor statistice este o teorie progresistă, care împinge ştiinţa spre noi*

XIX *La physique nouvelle et Ies quanta,* p. 6.

XX S. G. S u v o r o v, *Questions scientifiques, Physique,* tom. I, 1952. p. 53.

cercetări asupra necunoscutului" [XXI].

Este adevărat că imediat după aceasta, Terleţki precizează :

XXI *Ibidem,* p. 141.

„Din contră, interpretarea mecanicii cuantice în spiritul teoriei complementarităţii este incompatibilă cu materialismul. Teoria, complementarităţii atribuie limite artificiale cunoaşterii microobiectelor, frînînd prin aceasta progresul ştiinţei".

De la complementaritate la indeterminism

Principiul complementarităţii a fost enunţat de Niels Bohr şi poate fi rezumat după cum urmează : *„Cele două aspecte, corpuscular şi ondulatoriu, fie ale particulelor în mişcare, fie ale radiaţiilor, sînt formele aceleiaşi realităţi".* Astfel, în mecanica cuantică, electronul nu este nici particulă şi nici undă ; aspectele corpusculare sau ondulatorii sub care avem posibilitatea să-1 observăm sînt aspectele *complementare* ale unui fenomen, ale cărui caracteristici *reale* ne scapă.

Este absolut exact că aceasta reprezintă o poziţie prin excelenţă pozitivistă sau — mai bine spus — care corespunde principiilor empiriocriticismului lui Avenarius şi Mach. Bohr, care neagă că ar fi pozitivist, a adoptat prima teză a lui Heisenberg, fiindcă i se părea că ea ar putea *„să explice trăsăturile individualităţii caracteristice fenomenelor cuantice şi să lămurească în acelaşi timp particularităţile problemei observaţiei din acest domeniu al experienţei"*

Bazele mecanicii cuantice raţionale fuseseră puse de Heisenberg în 1925 şi ele au fost dezvoltate prin importantele contribuţii ale lui Bonn şi Jordan, şi apoi ale lui Dirac. Noua teorie se prezenta sub forma unui vast ansamblu matematic, în care variabilele cinematice şi dinamice ale mecanicii clasice fuseseră înlocuite prin simboluri supuse unei algebre necomutative. Pentru a descrie atomul s-a renunţat la imaginea orbitelor. Ecuaţiile mecanicii lui Hamilton nu au fost modificate însă, iar constanta lui Blanck nu a intrat decît în regulile de comu-

[1] *Physique atomique et connaisance humaine,* p. 36.

taţie. Graţie reprezentării prin matrice a simbolurilor

folosite, ale căror elemente se referă la tranziţii între stări staţionare, a devenit posibilă, pentru prima dată, formularea cantitativă a *„principiului corespondenţei",* singura călăuză pentru evaluarea probabilităţilor proceselor de tranziţie.

Principiul corespondenţei permite folosirea, în anumite limite, a reprezentărilor mecanice şi electromagnetice clasice, cu toate că din punctul de vedere al acestor teorii, cuanta de acţiune este o „iraţionalitate".

O tranziţie înseamnă trecerea de la o stare cuantică staţionară, la o altă stare cuantică staţionară. Ea produce o variaţie de energie a sistemului. Spectrul este emis printr-un proces în trepte, în care fiecare tranziţie este însoţită de emisia unei cuante de lumină monocromatică, a cărei energie este egală cu un foton.

Experienţa care demonstrează dualismul undă-corpus- cul poate servi de exemplu. O particulă (foton sau electron) traversează fie un orificiu, fie o fantă îngustă, practicate într-o diafragmă la o oarecare distanţă în faţa unei plăci fotografice. Din cauza difracţiei undei, legată de mişcarea particulei, nu este posibil să se calculeze cu siguranţă punctul în care electronul sau fotonul va întâlni placa fotografică ; ceea ce se poate calcula *este numai probabilitatea de a afla punctul de impact într-o anumită regiune a plăcii.*

Un alt exemplu ne va da iposibilitatea să înţelegem probabilitatea legată de noţiunea de statistică. Este imposibil să se calculeze care nucleu de atom dintr-o anumită masă a unui element radioactiv va suferi transmutaţia caracteristică elementului considerat. Ceea ce se poate spune este numai că într-o anumită unitate de timp — într-o secundă, să zicem — se vor dezintegra atâtea nuclee. Dacă alegem în mod arbitrar un atom dat, este imposibil să calculăm momentul în care nucleul acestuia va suferi *el însuşi,* în raport cu alte nuclee, procesul radioactiv. Singurul lucru pe care putem să-1 cunoaştem este probabilitatea pe care o are acest nudeu de a se dezintegra în cursul unui interval dat.

O lege statistică *intangibilă* pare să conducă la indeterminism. Se poate susţine că nu există nici o cauză care să facă să se dezintegreze, dintr-o masă de materie radioactivă, cutare nucleu de atom, mai degrabă decît un altul. Se mai poate susţine, de asemenea, că acea cauză care intervine ca să provoace dezintegrarea cutărui nucleu mai degrabă decît a altuia este aşa de neînsemnată, încît scapă complet procedeelor noastre de investigaţie cele mai fine. Ar fi extrem de îndrăzneţ, ca, bazîndu-ne pe principiul incertitudinii, să declarăm, aşa cum a făcut Jordan, că atomul *„manifestă un fel de vitalitate capricioasă",* sau să vorbim ca şi Dirac despre *„libertatea electronului".*

Se pare că pentru Dirac această afirmaţie n-a fost decît o vorbă de duh, spusă în tinereţe, sau o replică spontană în focul unei discuţii aprinse la Congresul Sol- vay din 1927, în timp ce Jordan a construit o întreagă teorie filozofică conform căreia, *în linii mari,* liberul arbitru ar decurge dintr-un indeterminism particular.

Chiar dacă indeterminismul static ar părea perfect dovedit, în sensul că nu ar exista *în realitate* nici o cauzalitate de care ar depinde — într-o masă radioactivă — dezintegrarea unui nucleu mai degrabă decît a altuia, cu toate consecinţele care rezultă pentru ca principiul să poată fi aplicat la toate nivelurile în care operează incertitudinile şi probabilitatea, aceasta nu ne-ar putea împiedica de loc să păstrăm ideea de determinism în lumea noastră sensibilă, cu condiţia totuşi de a nu recădea în naivitatea determinismului laplacean, fiindcă totul ne face să credem că sistemele vii au capacitatea de a face anumite alegeri, cel puţin în stadiile superioare ale funcţiei psihice.

Este îndoielnic, pe de altă parte, că am avea dreptul să asimilăm, aşa cum a încercat să facă acelaşi Jordan, complementaritatea cu psihanaliza, sau să încercăm să stabilim, ca Bohr, o analogie între dualismul undă-corpuscul şi noţiunea carteziană a dublului aspect uman corp-suflet...

Poziţia lui Heisenberg

Heisenberg s-a ferit întotdeauna de exagerări. Cititorul va găsi în „Texte alese" definiţia dată de el „Interpretării de la Copenhaga", iar în *Problema naturii,* definiţia conceptului de „adevăr ştiinţific". Din cuprinsul acestui capitol vom vedea de ce concepţia materialistă, *aşa cum era înţeleasă ea în secolul al XlX-lea şi la începutul secolului al XX-lea,* i se părea cu totul depăşită. Materia- liştii dialectici sînt în fond de acord cu el, fiindcă era vorba de o imagine simplistă, de care am fost eliberaţi de către relativitatea restrânsă şi de mecanica ondulato- rie.

înseamnă toate acestea însă că Heisenberg ar putea fi socotit printre materialişti, aşa cum a încercat să demonstreze, *în legătură cu unele din teoriile acestuia,* fizicianul britanic Rosenfeld ? Poate că da, însă în alte împrejurări, el raţionează, fără discuţie, ca un idealist, ba chiar ca un spiritualist. Heisenberg rămîne profund ataşat de doctrinele platoniciene şi de filozofia lui Kant. Ceea ce se degajă însă în modul cel mai evident din interpretarea rezultatelor lucrărilor sale este un pozitivism de felul aceluia al lui Mach. Este adevărat, aşa cum vom vedea mai departe, că el respinge această „acuzaţie". Dar n-a fost el cel .care a scris cele ce urmează? : *„în concepţia lumii fizicii clasice baza solidă a oricărei cunoaşteri era realitatea obiectivă în spaţiu şi în timp ta evenimentelor, care se desfăşurau cu totul independent de procesele spirituale, conform legilor naturii, legi care, la rîndul lor, nu se raportau decît la asemenea evenimente «obiective». Datorită tehnicii perfecţionate a observaţiei* şi *îmbogăţirii cunoştinţelor pozitive care decurg din observaţie, ştiinţa contemporană a fost pînă la sfîrşit silită să-şi revizuiască fundamentele gnoseologice şi să se convingă că tun asemenea fundament solid al întregii cunoaşteri nu poate exista. Reprezentarea unui univers extinzîndu-se obiectiv în spaţiu şi timp nu este şi ea decît o «idealizare a realităţii», făcută din dorinţa de a obiectiva cât mai mult posibil".*

Punctele de vedere ale lui Einstein şi L. de Broglie

Faţă de nenumăratele adeziuni ale fizicienilor convinşi de justeţea *totalităţii* punctelor de vedere ale şcolii de la Copenhaga, au existat şi unele obiecţii valoroase, formulate, printre alţii, de către Einstein încă din 1927, şi apoi, mai tîrziu, de dl. Louis de Broglie, o vreme aderent al interpretării probabiliste pe care o predase timp de 25 de ani la College de France, după cum a declarat chiar el.

Iată una din criticile lui Einstein, ale cărei nuanţe sîntem siguri că nu vor scăpa cititorului. Ceea ce el nu admite este doar părăsirea *definitivă* a descrierii evenimentelor microscopice prin fixarea lor intr-un punct al spaţiu- luitimp[XXII] : *„Se susţine că succesul sistemului lui Heisenberg va conduce poate la folosirea unei metode pur algebrice pentru descrierea naturii, adică la eliminarea funcţiilor continue ale fizicii. In cazul acesta, ar trebui să părăsim, din principiu, şi continuul spaţio-temporal. N-ar fi de neînchipuit ca ingeniozitatea omenească să izbutească într-o zi să găsească metode permiţînd urmărirea acestei căi; la ora actuală însă, un ^asemenea program ar semăna cu o încercare de a respira în -vid. <*

Nu e nici o îndoială că mecanica cuantică a intrat în posesia unui important element de adevăr şi că ea va fi o piatră de încercare a oricărei baze teoretice viitoare, în sensul că va trebui să poată fi dedusă ca un caz limită, după cum electrostatica poate fi dedusă din ecuaţiile lui Maxwell pentru timpul electromagnetic, sau după cum termodinamica poate fi dedusă din mecanica clasică. Nu cred însă că mecanica cuantică va fi punctul de plecare al căutării acestei baze, tot aşa după cum nu se poate pleca de la termodinamică (respectiv de la mecanica statistică) pentru a se ajunge la bazele mecanicii.

Faţă de această situaţie, pare că este perfect justificat să se considere serios problema, dacă baza fizicii cîmpului n-ar putea fi pusă de acord, printr-un mijloc oarecare, cu rezultatele teoriei cuantelor. Nu ar fi aceasta singura bază care, în conformitate cu posibilităţile actuale ale exprimării matematice, ar putea fi adaptată la cerinţele teoriei

XXII *Conceptions scientifiques, morales et politiques,* **p. 85.**

relativităţii generale ? Credinţa, dominantă printre fizicienii de astăzi, că o asemenea încercare n-ar avea nici o şansă de reuşită îşi are rădăcinile în ide- ea ne justificabilă că o asemenea teorie ar conduce, într-o primă aproximaţie, la ecuaţiile mecanicii clasice pentru mişcările corpusculelor sau, în orice caz, la ecuaţii cu diferenţiale totale.

Este adevărat că pînă acum n-am reuşit niciodată să reprezentăm corpusculele teoretic, prin timpuri libere de singularităţi, şi nici nu putem spune ceva a priori *despre aceste entităţi. Un lucru este totuşi sigur : dacă o teorie a timpului ajunge la o reprezentare a corpusculelor libere de singularităţi, atunci comportarea în timp a acestor corpuscule va fi determinată numai prin ecuaţii diferenţiale ale timpului".*

Părăsirea determinismului, pe care o implică principiul incertitudinii, i-a repugnat întotdeauna d-lui Louis de Broglie şi nu de bunăvoie şi-a abandonat propria sa teorie a „soluţiei duble" în folosul mecanicii cuantice, însă — şi el continuă să-şi menţină această părere — interpretarea cuantică a şcolii de la Copenhaga este suficientă ca să explice toate fenomenele ce pot fi observate în domeniul microcosmului. în cazul acesta, de ce ţine el să reia astăzi tezele sale de prin 1925, adoptate între timp de D. Bohm în S.U.A. şi de Jean Pierre Vigier în Franţa ?

„Se poate răspunde mai întîi — scrie el[XXIII] — *că întoarcerea la concepţiile clare, carteziene, care respectă validitatea cadrului spaţiului şi timpului ar satisface, desigur, multe spirite şi ar permite nu numai înlăturarea obiecţiilor tulburătoare ale lui Einstein şi Schrbdinger, ci şi evitarea anumitor consecinţe stranii ale interpretării actuale.*

Într-adevăr, încercînd să descrie fenomenele cuantice numai cu ajutorul funcţiei continue T, *al cărei caracter statistic este sigur, interpretarea actuală ajunge logic la un fel de «subiectivism», înrudit, după părerea filozofilor, CU idealismul, şi tinde să nege existenţa unei realităţi fizice independente de observator".*

Bazîndu-se pe lucrările lui Bohm, dl. Louis de Bro-

XXIII *Nouvelles perspectives en microph-ysique,* p. 140.

glie socoteşte că chiar dacă interpretarea actuală a mecanicii cuantice ajunge pentru prevederea fenomenelor la scara atomică, s-ar putea ca acest lucru să nu se mai întîmple la scara nucleară, *„în care zonele singulare ale diverselor corpuscule s-ar putea încălca, astfel că n-ar mai putea fi considerate drept izolate".* El reaminteşte că interacţiunile din interiorul nucleului continuă să rămînă puţin cunoscute şi că diversele „modele" propuse sînt departe de a fi satisfăcătoare. Ceva mai mult, enigma hiperonilor n-a fost încă dezlegată.

„Se pare — scrie el[1] *— că fizica are nevoie urgentă de a putea defini o structură a particulelor şi, în special, de a putea introduce o «rază» a electronului, ca în vechea teorie a lui Lorenz. Ea nu poate face însă acest lucru, fiindcă este împiedicată de folosirea exclusivă a undei statistice.* Y *pentru descrierea particulelor, care o opreşte să utilizeze vreo imagine structurală a acestor particule. Ne este permis să credem că o schimbare de poziţie, care ar comporta întoarcerea la imaginile spaţio-temporale, ar ameliora situaţia".*

Criticile sale devin şi mai precise în forma următoare : *„Chestiunea care se pune este, în esenţă, aceea de a şti — aşa cum a subliniat adesea Einstein — dacă interpretarea actuală, care foloseşte numai unda cu caracter statistic, este o descriere «completă» a realităţii, caz în care ar trebui să admitem indeterminismul şi imposibilitatea de a reprezenta în mod precis realităţile la scara atomică, în cadrul spaţiului şi al timpului, sau dacă, din contră, această interpretare este incompletă şi ascunde în spatele ei, ca şi vechile teorii statistice ale fizicii clasice, o realitate perfect determinată şi descriptibilă în cadrul spaţiului şi timpului, prin nişte variabile care ne-ar fi ascunse, care ar scăpa adică determinărilor noastre experimentale"* [XXIV] [XXV].

XXIV *Nouvelles perspectives en microphysique,* p. 141.

XXV *Ibidem,* p. 142.

Am mai subliniat o dată că Werner Heisenberg este duşmanul exagerărilor. Extrapolările făcute fie de alţi făuritori ai mecanicii cuantice, fie mai adesea, şi cîteoda- tă în mod denaturat, de filozofi sau de pseudofilozofi, nu-i pot fi imputate.

Fără să insiste asupra anumitor luări de poziţie, Heisenberg şi-a pus, în mod justificat, în gardă cititorii : „Ne *simţim astăzi mai puţin înclinaţi să presupunem că conceptele fizicii — chiar şi acelea ale fizicii cuantice — pot fi aplicate fără rezerve întregii biologii sau altor ştiinţe. Din contră, vom încerca să lăsăm uşa deschisă intrării noilor concepte, chiar in acele domenii ale ştiinţei în care vechile concepte au făcut servicii preţioase, permiţînd înţelegerea fenomenelor. în special acolo unde aplicarea vechilor concepte pare oarecum forţată şi nu cu totul adecvată problemei, vom încerca să evităm orice concluzie îndrăzneaţă"*

Pe de altă parte, el n-a pretins niciodată că teoria cuantică ar fi ceva „absolut", cu toate că o consideră, el însuşi, ca avînd un caracter „definitiv" în cadrul cunoş- tinţelor actuale. *„Termenul «definitiv», aplicat ştiinţelor exacte* — explică el — *înseamnă evident că există sisteme de concepte şi de legi care formează o totalitate închisă şi care pot fi formulate matematic. Ele sînt valabile pentru anumite domenii ale experienţei, în care prezintă o validitate universală, şi nu sînt susceptibile nici de transformări, nici de perfecţionări"*[XXVI XXVII].

Astfel, de exemplu, nu încape nici o îndoială că în condiţii experimentale normale, curentul electric va circula întotdeauna de la anod la catod. Cuanta de acţiuna este o noţiune cîştigată, asupra căreia nimănui nu i-ar putea trece prin cap să mai revină. Heisenberg are tot dreptul să considere drept imuabil principiul său de incertitudine, în ceea ce priveşte învelişul electronic al nucleelor, dar n-a pretins niciodată că

XXVI *Physique et philosophie,* p. 201.

XXVII *La nature dans la physique contemporaine,* p. 32.

acest principiu s-ar aplica şi părţilor constitutive ale acestui nucleu. *„Fireşte că nu putem spera ca conceptele şi legile să fie capabile să reprezinte, ca urmare a aplicaţiilor lor, noi domenii ale experienţei. De aceea, nici conceptele şi legile teoriei cuantelor nu pot fi considerate ca definitive, altfel decit in aceste limite. In acest sens limitat, şi numai în acest sens, i se poate întîmpla unei cunoaşteri ştiinţifice să fie «definitiv» fixată intr-un limbaj matematic sau altul“.*

în ceea ce priveşte observaţia perfect fundată a oponenţilor săi, conform căreia „Interpretarea de la Copenhaga" n-ar permite o *descriere* univocă şi *obiectivă* a fenomenelor fizice, Heisenberg pune problema de a se şti ce se înţelege exact prin „descriere". în ceea ce-1 priveşte, el consideră că mecanica cuantică oferă o descriere cu totul corectă a proceselor observate.

„Orice cunoaştere, ştiinţifică sau nu — scrie el — *depinde de limbajul nostru, de comunicarea ideilor. Orice descriere la fenomenelor, a experienţelor sau a rezultatelor lor se sprijină pe limbajul nostru drept unic mijloc de comunicare. Cuvintele acestui limbaj reprezintă conceptele vieţii zilnice care, în limbajul ştiinţific al fizicii, se pot rafina intr-atit incit să devină concepte ale fizicii clasice. Aceste concepte sînt singurele unelte care ne permit să schimbăm fără echivoc gîndurile noastre asupra fenomenelor, a organizării experienţelor şi asupra rezultatelor lor. Deci, atunci cînd i se cere atomistului să dea o descriere a celor ce se petrec realmente în experienţele sale, cuvintele «descriere», «în realitate», «se petrec» nu pot privi decît conceptele vieţii zilnice sau ale fizicii clasice. Dacă fizicianul ar părăsi această bază, ar pierde putinţa de a se exprima fără echivoc şi nu şi-ar mai putea continua cercetarea ştiinţifică. In consecinţă, orice declaraţie asupra celor ce «s-au petrecut în realitate» este o declaraţie în termeni de concepte clasice şi — din cauza termodinamicii şi a relaţiilor de incertitudine — incompletă în sine în ceea ce priveşte detaliile fenomenelor în cauză. A cere cuiva să descrie ceea ce «se petrece» în procesele cuantice, între două observaţii succesive, este o contradicţie* in adjecto, *deoarece cuvîntul «a descrie» se referă la folosirea conceptelor clasice, în timp ce aceste concepte nu pot fi aplicate*

*pentru intervalele care despart două observaţii, ci numai în punctele de observaţie" *.*

în cele ce urmează, Heisenberg se apără de învinuirea că ar fi pozitivist sau chiar că „Interpretarea de la Copenhaga" ar fi pozitivistă. *„In timp ce pozitivismul consideră percepţiile senzoriale ale observatorului drept elemente ale realităţii, «Interpretarea de la Copenhaga» consideră că fundamentele oricărei interpretări fizice sînt lucrurile şi procesele descriptibile cu ajutorul conceptelor clasice, adică realul"* [XXVIII] [XXIX].

Apoi adaugă : *„Vedem în acelaşi timp că natura statistică a legilor fizicii macroscopice nu poate fi evitată,, fiindcă, din cauza legilor cuantice, orice cunoaştere a «realului» este o cunoaştere incompletă în şine".*

A nega apartenenţa pozitivistă nu înseamnă însă adeziunea la materialism, a cărui ontologie, ne asigură el *„se sprijinea pe iluzia că felul de existenţă, «realitatea» directă a lumii care ne înconjură, ar putea fi extrapolată pînă ila ordinul de mărime a atomului".*

Heisenberg nu precizează însă de care materialism este vorba : materialismul dialectic condamnă şi el materialismul simplist, care, după marea înflorire de care s-a bucurat în secolul al XIX-lea, continuă să mai obsedeze prin deprindere o mulţime de spirite de academicieni, sau de spirite numindu-se sau crezîndu-se „academice".

De altminteri, criticii marxişti care s-au ocupat serios de ultimele lucrări ale lui Wemer Heisenberg au admis că ele duc la concepţii foarte apropiate de cele ale lor, cu atât mai mult cu cît la a IX-a Conferinţă internaţională Rochester, care a avut loc în 1959 la Kiev, el a declarat : *„Dacă ^cercetăm legile de care ascultă transformarea particulelor de un tip dat într-un tip diferit şi cu caracteristici diferite, sîntem obligaţi să recunoaştem că este puţin probabil ca un grup de particule să fie guvernat de anumite legi, iar alt grup de alte legi. Există, după toate aparenţele, o lege unică a naturii, poate chiar o lege foarte simplă, care ar putea*

XXVIII *Physique et philosophie,* p. 164.
XXIX *Ibidem,* p. 165.

condiţiona existenţa

particulelor elementare, proprietăţile lor şi existenţa cîmpului lor ide forţă" [1].

După Keler, de la care am împrumutat acest citat, Heisenberg ar fi convenit, în acelaşi an, că există „o *legătură indestructibilă care uneşte materia cu spaţiul şi cu timpul".* Această afirmaţie nu indică, fără îndoială, o evoluţie spre materialism, însă în prezent divergenţele de păreri dintre oamenii de ştiinţă nu se mai datoresc 'decît semanticii.

Pentru fizicianul modem care se declară materialist dialectic, materia nu mai poate fi un concept aşa de sărac ca singurul concept pe care Engels îl avea, la timpul lui, la dispoziţie. Suvorov, pe care l-am mai citat, precizează[XXX] [XXXI] : *„Materia în sens restrîns şi cîmpul sînt manifestări fizice particulare ale naturii care există obiectiv, iar între aceste manifestări nu există frontiere de netrecut, ci o unitate dialectică. Cîmpul electromagnetic, de exemplu, se transformă în perechi electron-pozitorn, şi invers. Fizicienii sînt din ce în ce mai convinşi de faptul că materia în sens restrîns şi cîmpul sînt noţiuni relative, în sensul că în anumite condiţii materia se manifestă* ca materie în sens restrîns, *ca un ansamblu de particule,* iar în alte condiţii, ca un cîmp *care condiţionează interacţiunea particulelor de un* $_{t}$*alt fel* (fotonii condiţionează interacţiunea sarcinilor electrice ; mezonii sînt «vehiculele» interacţiunilor nucleare etc.)".

Şi Suvorov adaugă : *„Mişcarea materiei încetează, din ce în ce mai mult, ide a mai fi în ochii fizicienilor doar un atribut exterior al materiei, cum era cazul atunci cînd nu se cunoşteau decît corpurile macroscopice şi forma mecanică a mişcării, care consta numai în deplasarea acestor corpuri macroscopice. în microfizică, mişcarea nu este numai o simplă deplasare ; ea este o formă mai complexă de schimbare a stării obiectelor microscopice, transformare legată în mod esenţial de aspectul concret pe care îl îmbracă*

XXX Citat de Keler, în *L'Univers des physiciens,* p. 191.

XXXI *Questions scientifiques, Physique,* p. 33.

materia. In afară de determinarea legii mişcării unui obiect material, nu putem spune nimic în privinţa ei“.

Există oare o diferenţă fundamentală între acest punct de vedere al unui materialist dialectic autentic şi punctele de vedere generale ale lui Heisenberg, care se apără adesea de a fi un materialist (desigur, în felul acelora din secolul al XIX4ea şi de la începutul secolului al XX-lea)?

El ar trebui să ne dea răspunsul înainte de reeditarea acestei cărţi. Are vînsta de numai 65 de ani şi, sperăm noi, încă mulţi ani fructuoşi în faţa lui.

Orsay, 20 decembrie 1965

Texte alese

Cîteva cugetări ale lui Werner Heisenberg

Pe vremuri, Omul stătea faţă-n faţă cu Natura, locuită de făpturi de toate soiurile. Natura constituia un ■regat care trăia după propriile lui legi ; Omul trebuia să se adapteze la ea, într-un fel sau altul. Astăzi, trăim într-o lume aşa de complet transformată de Om, incit întîlnim pretutindeni structurile al căror autor este el.

împărţirea convenţională a lumii în subiect şi obiect, în lume interioară şi lume exterioară, în trup şi suflet, - nu mai poate fi explicată.

Pentru ştiinţele naturii, subiectul cercetării nu mai este „natura în sine“, ci Natura supusă întrebărilor Omului. In această confruntare, Omul nu se-ntâlneşte decît cu el însuşi.

Spaţiul în care Omul se dezvoltă ca fiinţă spirituală are o amploare mult mai mare decît singura dimensiune în care activitatea lui s-a desfăşurat în cursul ultimelor secole.

Susţinătorii atomismuilui au trebuit să se aplece în faţa faptului că ştiinţa nu este decît o verigă din lanţul infinit al dialogurilor dintre Om şi Natură, şi că fizica nu

mai poate vorbi în mod simplist despre o Natură „în sine“.

în viitor, numeroasele aparate tehnice puse la dispoziţia Omului de către Om vor fi poate tot aşa de nedespărţite de el ca cochilia, de melc, sau pînza, de păianjen. Iar aceste aparate vor constitui mai degrabă părţi ale organismului omenesc, decît părţi ale Naturii înconjurătoare.

Intervenţia tehnicii în raporturile dintre Om şi Natură se traduce prin faptul că tehnica transformă, pe scară largă, lumea înconjurătoare a Omului, dezvăluindu-i, fără încetare şi fără putinţă de ocolire, aspectul ştiinţific al Universului.

Dacă ne este îngăduit să vorbim de o imagine a Naturii conformă cu ştiinţele exacte ale timpului nostru, ar trebui să înţelegem prin ea nu atît imaginea Naturii, cît *imaginea raporturilor noastre cu Natura.*

Nu trebuie să uităm niciodată că în tragedia existenţei sîntem, în acelaşi timp, actori şi spectatori.

Chiar şi pentru un fizician, expunerea într-un limbaj simplu este o măsură â gradului de înţelegere la care a ajuns.

, Este posibil ca influenţa spirituală a ştiinţei moderne să faciliteze unor grupuri şi mai vaste de oameni observaţia că doctrinele nu sînt poate aşa de importante pentru societate cum se presupunea pînă acum. în feliul

acesta, influenţa ştiinţei moderne ar putea favoriza o atitudine de toleranţă, dovedindu-se astfel utilă.

Dacă ţii să nu spui niciodată lucruri greşite, trebuie să păstrezi tăcerea.

Spre deosebire de ideile politice, care pot căpăta o mare influenţă asupra maselor populare numai pentru că corespund sau par a corespunde intereselor primordiale ale poporului, ideile ştiinţifice nu se răspândesc decît atunci cînd sînt corecte.

Interpretarea de la Copenhaga

Interpretarea de la Copenhaga a teoriei cuantice a luat naştere dintr-un paradox. Orice experienţă de fizică, indiferent dacă este vorba de fenomene ale vieţii cotidiene sau de fenomene atomice, este descrisă, prin forţa lucrurilor, în termeni de fizică clasică. Conceptele fizicii clasice formează limbajul cu ajutorul căruia descriem condiţiile în care se desfăşoară experienţele noastre şi comunicăm rezultatele lor. Ne este imposibil să înlocuim aceste concepte prin altele, şi nici nu ar trebui să încercăm să facem acest lucru. Aplicarea acestor concepte este limitată însă de relaţiile de incertitudine, şi atunci cînd folosim conceptele clasice, n-ar trebui să pierdem nici un moment din vedere valoarea lor limitată, care nici nu ne permite, nici nu ne dă dreptul să încercăm a le îmbunătăţi.

Pentru a înţelege mai bine acest paradox, este bine să comparăm procesele folosite pentru interpretarea teoretică a unei experienţe din fizica clasică, cu acelea din mecanica cuantică. Să luăm un exemplu. în mecanica newtoniană putem începe prin măsurarea poziţiei şi vitezei unei planete a cărei mişcare vrem să o studiem, pentru a calcula — pe baza observaţiilor şi pentru un moment dat — valorile coordonatelor şi valoarea cantităţii de mişcare ale acestei planete, valori pe care le punem la dispoziţia aparatului matematic. Folosind apoi ecuaţiile mişcării putem calcula valorile coordonatelor, ale cantităţii de mişcare, precum şi toate celelalte proprietăţi ale sistemului pentru un moment ulterior. In felul acesta, astronomul poate prevedea proprietăţile succesive ale sistemului şi poate calcula, de exemplu, momentul exact al unei eclipse de Lună.

In teoria cuantică, procesul este oarecum diferit. Să

presupunem că ne interesează mişcarea unui electron intr-o cameră Wilson şi că putem determina, printr-o observaţie de indiferent ce fel, poziţia şi viteza iniţială ale acestui electron. Această determinare nu va fi însă precisă, fiindcă va fi afectată cel puţin de impreciziile cauzate de relaţiile de incertitudine, precum şi — probabil — de erori mai mari datorate dificultăţilor experienţei. Prima din aceste imprecizii ne permite să transpunem rezultatul observaţiei noastre în schema matematică a teoriei cuantice, conform căreia vom scrie o funcţie de probabilitate care să reprezinte situaţia experimentală din momentul măsurării şi care să cuprindă chiar erorile posibile de măsură.

Această funcţie de probabilitate este un compromis : reprezintă parţial un fapt, şi parţial cunoştinţa noastră despre un fapt. Reprezintă un fapt în măsura în care funcţia atribuie pentru momentul iniţial o probabilitate de 100% (adică o certitudine totală) situaţiei iniţiale, adică a trecerii electronului prin poziţia observată cu viteza observată („observată" adică în limitele de precizie ale experienţei). Funcţia de probabilitate reprezintă, pe de altă parte, cunoştinţa noastră despre fapt, în măsura în care un alt observator ar putea cunoaşte poziţia electronului cu o precizie şi mai mare. Eroarea experimentală nu prezintă, cel puţin pînă la un anumit grad, o proprietate a electronului, ci faptul că nu avem decît o cunoştinţă incompletă despre acest electron, deficienţă exprimată de asemenea în funcţie de probabilitate.

Pentru a face o măsurare îngrijită în fizica clasică, trebuie să considerăm de asemenea şi eroarea de observaţie, ceea ce ne^ar da o distribuţie a probabilităţii pentru valorile iniţiale ale coordonatelor şi ale vitezelor, prin urmare ceva foarte asemănător funcţiei de probabilitate din mecanica cuantică. Ceea ce nu există în fizica clasică este numai incertitudinea inerentă relaţiilor de incertitudine.

în mecanica cuantică, o dată ce funcţia de probabili-
OS tate a fost determinată pentru momentul iniţial (cu ajutorul observaţiei), putem să calculăm cu ajutorul legilor teoriei cuantice funcţia de probabilitate pentru un moment ulterior oarecare, adică să determinăm probabilitatea ca o

măsurare oarecare să dea o valoare anumită cantităţii măsurate. Aceasta înseamnă că putem prevedea probabilitatea de a găsi electronul la un moment ulterior fixat, într-un punct dat al camerei Wilson. Trebuie subliniat însă că funcţia de probabilitate nu reprezintă, prin ea însăşi, desfăşurarea fenomenului în timp, ci doar o tendinţă a fenomenelor şi a cunoaşterii noastre asupra acestor fenomene. Funcţia de probabilitate nu poate fi legată cu realitatea decît în cazul în care este îndeplinită o condiţie esenţială, şi anume aceea ca să se facă o nouă măsurare pentru determinarea unei anumite proprietăţi a sistemului. De-abia după ce am făcut acest lucru, funcţia de probabilitate ne permite să calculăm rezultatul probabil al noii măsurări, rezultat care va fi exprimat din nou în termeni de fizică clasică.

Rezultă că interpretarea teoretică a experienţei prezintă trei faze distincte :

1. transpunerea situaţiei experimentale iniţiale într-o funcţie de probabilitate ;
2. urmărirea evoluţiei în timp a acestei funcţii ;
3. enunţarea noii măsurări a sistemului care urmează să fie făcută şi al cărei rezultat va putea fi calculat pe baza funcţiei de probabilitate.

Condiţia necesară pentru prima fază este satisfacerea relaţiilor de incertitudine. A doua fază nu poate fi descrisă cu ajutorul conceptelor clasice, fiindcă nu există nici o informaţie despre ceea ce devine sistemul în intervalul dintre observaţia iniţială şi măsurarea următoare. De-abia în a treia fază trecem din nou de la „posibil", la „real".

Să ilustrăm aceste trei faze printr-o experienţă ideală simplă. Se afirmă că atomul constă dintr-un nucleu şi din electroni care se rotesc în jurul acestui nucleu. S-a afirmat, de asemenea, că conceptul de orbită electronică ar fi îndoielnic. S-ar putea susţine totuşi, că ar fi posibil (cel puţin în principiu) să observăm electronul pe orbita lui. în acest scop, ar fi de ajuns să observăm atomul cu ajutorul unui microscop cu o foarte mare putere de rezoluţie pentru a putea vedea electronul deplasîndu-se pe orbita lui. Un microscop care foloseşte lumina obişnuită n-ar putea să aibă o putere de rezoluţie suficient de mare, fiindcă imprecizia măsurării poziţiei nu poate fi niciodată inferioară lungimii de undă a luminii folosite.

Un microscop cu radiaţii y, cu o lungime de undă inferioară dimensiunii atomului, ar fi mai potrivit. Este adevărat că nu s-a construit încă un microscop de acest fel, însă lucrul acesta nu trebuie să ne împiedice să discutăm experienţa noastră ideală.

Prima fază (transpunerea rezultatului în funcţia de probabilitate) este ea oare pasibilă ? Nu este posibilă decât dacă relaţia de incertitudine este satisfăcută după observaţie. Poziţia electronului va fi cunoscută cu o precizie determinată de lungimea de undă a radiaţiilor y folosite. Se poate ca electronul să fi fost practic în repaus înaintea observaţiei. în cursul observaţiei însă, a trebuit ca prin microscop să treacă cel puţin o cuantă de radiaţie, cuantă care, prin forţa lucrurilor, a fost deviată de electron. Rezultă că electronul a fost „îmbrâncit" de cuanta luminoasă, modificîndu-şi cantitatea de mişcare şi viteza, astfel că se poate arăta că incertitudinea asupra acestei modificări este destul de mare pentru a asigura valabilitatea relaţiilor de incertitudine. Prima fază nu prezintă, prin urmare, dificultăţi.

Vom constata, în acelaşi timp, cu uşurinţă, că nu există nici un mijloc pentru observarea orbitei electronului în jurul nucleului. Faza a doua ne arată un pachet de unde deplasîndu-se nu în jurul nucleului, ci îndepărtîndu-se de atom, din cauză că prima cuantă luminoasă a smuls electronul din atom. Cantitatea de mişcare a cuantei luminoase este mult mai mare decît cantitatea de mişcare iniţială a electronului, cu toate că lungimea de undă a radiaţiilor este mult inferioară dimensiunii atomului. Rezultă că cuanta luminoasă este suficientă ca să smulgă electronul din atom, şi că nu vom putea observa niciodată mai mult de un singur punct al orbitei electronului. în sensul obişnuit al termenului, nu există deci orbită.

Observaţia următoare — faza a treia — va arăta electronul, pe traiectoria lui, îndepărtîndu-se de atom.

în general vorbind, constatăm că nu există nici un mijloc pentru a descrie ce se petrece între două observaţii consecutive. Fireşte că sîntem tentaţi să spunem că electronul a trebuit să fie doar undeva între aceste două observaţii şi că prin urmare, el a trebuit să descrie o traiectorie sau o orbită oarecare, chiar dacă nu avem poate posibilitatea de a o cunoaşte. Acesta ar putea să fie un argument rezonabil în fizica clasică, însă în teoria cuantică, el nu ar reprezenta decît un abuz de limbaj, care, aşa cum vom vedea mai departe, nu ar avea nici o bază.

Nu vom discuta deocamdată faptul că această punere în gardă reprezintă un enunţ al felului în care ar trebui să vorbim de fenomenele atomice, sau un enunţ al fenomenelor înseşi, dacă este vorba de epistemologie sau de ontologie. în orice caz, trebuie să fim foarte prudenţi atunci cînd este vorba de construcţia unei declaraţii oarecare privind comportarea particulelor atomice.

De fapt, nici un avem nevoie să vorbim de particule. Pentru multe experienţe, este mult mai comod să vorbim de unde corpusculare staţionare în jurul nucleului atomic. O asemenea descriere ar fi în contradicţie directă cu cealaltă descriere, dacă am neglija limitările provocate de relaţiile de incertitudine, datorită cărora se evită contradicţia. Folosirea termenului „undă corpusculară" este comodă, de exemplu, atunci cînd ne ocupăm de radiaţia emisă de atom. Prin frecvenţele şi intensităţile sale, această radiaţie ne dă informaţii asupra distribuţiei sarcinii oscilante în atom şi, din acest punct de vedere, imaginea ondulatorie este mult mai apropiată de adevăr decît imaginea corpusculară. Tocmai din această cauză, Bohr a preconizat folosirea acestor două imagini pe care el le-a numit „complementare". Fireşte că cele două imagini se exclud una pe alta, fiindcă un lucru dat nu poate fi în acelaşi timp o particulă (adică o substanţă închisă într-un volum foarte mic) şi o undă (adică un cîmp care se extinde pe un spaţiu mare), însă ele sînt complementare. Jonglînd cu aceste două imagini, trecînd de la una la alta şi revenind la cea dintîi, obţinem în cele din urmă o impresie corectă asupra realităţii stranii care se ascunde în spatele experienţelor noastre atomice. Bohr foloseşte în mai multe locuri conceptul de „complementaritate"

pentru a interpreta teoria cuantică : cunoaşterea poziţiei unei particule este complementară cunoaşterii vitezei sale sau cantităţii sale de mişcare. Dacă cunoaştem cu mare precizie una din aceste valori, n-o putem cunoaşte şi pe cealaltă, cu aceeaşi precizie. Şi totuşi, pentru a determina comportarea sistemului, este necesar ca ambele valori să ne fie cunoscute.

Descrierea fenomenelor atomice în spaţiu-timp este complementară descrierii lor deterministe. Funcţia de probabilitate ascultă de o ecuaţie de mişcare, aşa cum fac şi coordonatele în mecanica newtoniană. Deşi modificarea ei în timp este complet determinată de ecuaţia din mecanica cuantică, ea nu ne permite însă o descriere în spaţiu-timp. Observaţia impune, pe de altă parte, descrierea în spaţiu şi în timp, rupînd însă continuitatea determinată de funcţia de probabilitate şi modificînd cunoaşterea noastră a sistemului.

În general, dualismul între două descrieri diferite ale aceleiaşi realităţi nu mai reprezintă o dificultate, fiindcă ştim că formularea matematică a teoriei neagă această contradicţie. Dualismul între aceste două imagini — undă şi particule — apare dar şi în supleţea ansamblului matematic. Formal, ansamblul matematic este scris în mod obişnuit astfel ca să semene cu acela din mecanica newtoniană, cu ecuaţii ale mişcării avînd ca variabile coordonatele şi cantităţile de mişcare ale particulelor, însă printr-o transpunere în trei dimensiuni. Prin urmare, posibilitatea de a jongla cu imaginile complementare diferite îşi are analogul ei în diferitele transformări ale ansamblului matematic. Ea nu conduce la nici o dificultate în „Interpretarea de la Copenhaga" a teoriei cuantice.

O dificultate reală intervine însă în înţelegerea acestei „Interpretări", atunci cînd se pune întrebarea : „Ce se petrece *realmente* în cursul unui fenomen atomic ?“

Ştim deja că mecanismul şi rezultatul unei observaţii pot fi exprimate întotdeauna cu ajutorul conceptelor clasice. Ceea ce se deduce însă dintr-o observaţie este o funcţie de probabilitate, o expresie matematică care combină enunţuri asupra posibilităţilor sau tendinţelor, cu enunţuri asupra cunoaşterii noastre a faptelor. Din această cauză, noi nu putem reda absolut obiectiv rezultatul unei observaţii, adică nu putem descrie „ce se

petrece" între această observaţie şi cea următoare. Face impresia deci că am introdus un element subiectiv în teorie. Este ca şi cînd am vrea să spunem : ceea ce se petrece depinde de felul cum facem observaţia sau de faptul că facem observaţie. înainte de a discuta această problemă a subiectivităţii, este necesar să explicăm foarte clar de ce am întîm- pina dificultăţi de neînvins dacă am încerca să descriem ceea ce se petrece între două observaţii consecutive.

în acest scop, să analizăm experienţa ideală următoare. Să presupunem că un ecran negru, prevăzut cu două găuri mici, este luminat de o mică sursă de lumină monocromatică. Diametrul găurilor poate să nu fie cu mult superior lungimii de undă a luminii, însă distanţa dintre ele trebuie să fie mult mai mare. în spatele ecranului, la o anumită distanţă, se află o placă fotografică care înregistrează lumina care cade pe ea. Dacă descriem experienţa în termeni ondulatorii, vom spune că unda incidenţă pătrunde prin cele două găuri, că începînd de la aceste găuri se produc unde secundare sferice care interfereazi. între ele şi că aceste interferenţe produc o reţea de intensitate variabilă (franjuri de interferenţă) pe placa fotografică.

Or, înnegrirea plăcii fotografice este un proces cuantic, o reacţie chimică produsă de cuante luminoase individuale ; ar trebui să fie deci posibil să descriem experienţa cu ajutorul cuantelor luminoase. Dacă am avea dreptul să spunem ce se întâmplă cu o cuantă luminoasă individuală între emisia ei de la sursă şi absorbţia ei de către placă, am putea face următorul raţionament. Această cuantă luminoasă trece fie prin prima gaură, fie prin cea de-a doua. Dacă cuanta trece prin prima gaură şi este difractată, probabilitatea ca ea să fie absorbită într-un punct dat al plăcii fotografice nu poate depinde de faptul că cea de-a doua gaură este deschisă sau închisă, astfel că distribuţia probabilităţii pe placă va fi aceeaşi ca atunci cînd numai prima gaură ar fi fost deschisă. Dacă experienţa este repetată de un număr mare de ori şi dacă se colectează toate cazurile în care cuanta luminoasă a trecut prin prima gaură, înnegrirea plăcii, provocată de aceste cazuri, va corespunde distribuţiei probabilităţii.

Dacă nu luăm în consideraţie decît cuantele luminoase care trec prin cea de-a doua gaură, înnegrirea ar trebui să corespundă unei distribuţii a probabilităţii bazată pe ipoteza că numai această de-a doua gaură este deschisă. In consecinţă, înnegrirea totală n-ar trebui să fie decît suma înnegririlor din cele două cazuri sau, cu alte cuvinte, n^ar trebui să avem franjuri de interferenţă.

Ştim însă că această concluzie este falsă, pentru că experienţa dă franjuri de interferenţă. Rezultă că o declaraţie după care orice cuantă luminoasă trebuie să treacă, în mod necesar, *fie* prin prima, *fie* prin cea de-a doua gaură, este problematică şi duce la contradicţii. Acest exemplu arată foarte clar că conceptul funcţiei de probabilitate nu ne permite să descriem ceea ce se petrece între două observaţii. Orice încercare de a găsi o asemenea descriere ar duce la contradicţii, ceea ce înseamnă, în mod necesar, că termenul „se petrece" este restrîns la observaţie.

Concluzia aceasta este însă foarte stranie, fiindcă pare să indice că observaţia joacă un rol hotărâtor intr-un fenomen şi că realitatea variază după cum observăm sau nu. Pentru a vedea lucrurile şi mai dar, este necesar să analizăm mai îndeaproape procesul de observaţie.

Pentru a începe, este important să nu uităm că în ştiinţele experimentale nu ne interesăm de universul luat ca un tot — inclusiv persoana noastră — ci că ne îndreptăm atenţia asupra unei anumite părţi a acestui univers, pe care o facem obiectul studiului nostru. în fizica atomică, această parte a universului este, în general, un obiect foarte mic, o particulă atomică sau un grup de asemenea particule, putând fi însă câteodată mai mane. De altfel, dimensiunea interesează puţin. Ceea ce importă este ca o mare parte a universului — inclusiv persoana noastră — să *nu* aparţină acestui obiect.

Interpretarea teoretică a unei experienţe începe cu cele două faze pe care le-am discutat. In prima fază, trebuie să descriem, în termenii fizicii clasice, condiţiile experienţei, combinate în final cu o primă observaţie, şi

să traducem apoi această descriere îmitr-o funcţie de probabilitate. Această funcţie urmează legile mecanicii cuantice, iar evoluţia ei în timp — care este continuă — poate fi calculată plecând de la condiţiile iniţiale. Aceasta este cea de-a doua fază. Funcţia de probabilitate combină elemente obiective şi elemente subiective. Ea conţine enunţuri asupra posibilităţilor şi asupra tendinţelor celor mai probabile *(potentia,* în filozofia lui Aristotel), care sînt absolut obiective şi nu depind cîtuşi de puţin de observator, precum şi enunţuri referitoare la ceea ce ştim noi despre sistem, care sînt, fireşte, subiective în măsura în care pot diferi de la un observator la altul. în cazurile ideale, elementul subiectiv al funcţiei de probabilitate poate fi practic neglijabil, comparat cu elementul obiectiv. Fizicianul spune în acest caz că este vorba de un „caz pur".

Atunci cînd trecem la observaţia următoare (al cărei rezultat ar trebui să-l putem prevedea cu ajutorul teoriei), este foarte important să ţinem seama de faptul că obiectul nostru a fost, în mod necesar, în contact cu alte părţi ale lumii (condiţiile experimentale, aparatele de măsură etc.), înaintea observaţiei sau, cel puţin, în timpul observaţiei. Aceasta înseamnă că ecuaţia mişcării pentru funcţia de probabilitate conţine acum influenţa interacţiunii cu dispozitivul de măsură. Influenţa aceasta introduce un nou element de incertitudine, fiindcă dispozitivul de măsură este în mod necesar descris în termeni de fizică clasică, iar această descriere conţine toate incertitudinile provocate de structura microscopică a dispozitivului, pe care le cunoaştem din termodinamică. Din cauză că dispozitivul este în relaţie cu restul lumii, el conţine de fapt incertitudini asupra naturii microscopice a lumii întregi. Se poate spune că aceste incertitudini sînt obiective în măsura în care nu sînt decît o consecinţă a descrierii cu ajutorul fizicii clasice şi nu depind de loc de observator, şi că sînt subiective în măsura în care se referă la cunoaşterea noastră incompletă a acestei lumi.

O dată ce această interacţiune s-a produs, funcţia de probabilitate conţine elementul obiectiv de tendinţă şi elementul subiectiv de cunoaştere incompletă, chiar dacă

mai înainte ar fi fost vorba de un „caz pur". Acesta este motivul pentru care nu se poate prevedea — în general — cu certitudine rezultatul observaţiei ; ceea ce se poate prezice este probabilitatea unui anumit rezultat al observaţiei, probabilitate care poate fi verificată repetând experienţa de un număr mare de ori. Spre deosebire de dezvoltarea obişnuită din mecanica newtoniană, funcţia de probabilitate nu descrie un anumit fenomen, ci un întreg ansamblu de fenomene posibile — cel puţin în timpul procesului de observaţie.

Observaţia însăşi modifică în mod discontinuu funcţia de probabilitate ; ea alege dintre toate fenomenele posibile pe acela care a avut loc în realitate. Datorită faptului că prin observaţie cunoaşterea noastră a sistemului s-a modificat în mod discontinuu, reprezentarea sa matematică a suferit şi ea o modificare discontinuă, pe care o numim un salt „cuantic". Celor care folosesc vechiul adagiu *Natura non facit saltus* (Natura nu face salturi) drept punct de plecare pentru critica teoriei cuantice, le putem răspunde, că de fapt cunoaşterea noastră se poate schimba în mod neaşteptat şi că acest lucru justifică termenul „salt cuantic".

Rezultă din cele de mai sus că tranziţia de la „posibil" la „real" se produce în timpul actului de observare. Atunci cînd vrem să descriem ceea ce se petrece în cursul unui fenomen atomic, trebuie să ţinem seama că termenul „se petrece" nu se aplică decît observaţiei şi nu şi stării de lucruri dintre două observaţii. Termenul se aplică actului fizic al observării şi nu actului psihologic, astfel că ne este permis să spunem că tranziţia de la „posibil" la „real" se produce de îndată ce interacţiunea obiectului cu instrumentul de măsură (şi deci cu restul lumii) a început să se producă. Termenul „se petrece" n-are nici o legătură cu actul de înregistrare a rezultatului de către creierul observatorului. Modificarea discontinuă a funcţiei de probabilitate se produce însă în acelaşi timp cu actul înregistrării, fiindcă modificarea discontinuă a cunoaşterii noastre în momentul înregistrării îşi are reflexul în modificarea discontinuă a funcţiei de probabilitate.

în fond, în ce măsură am ajuns noi la o descriere obiectivă a lumii, în special a lumii atomice ? In fizica

clasică, ştiinţa pleca de la credinţa — ar trebui poate să-i spunem iluzia ? — că puteam descrie lumea (cel puţin în parte) fără absolut nici o intervenţie a propriei noastre persoane. Acest lucru este într-adevăr posibil pe scară largă : ştim că oraşul Londra există şi că-1 putem vedea sau nu. Se poate spune că fizica clasică este tocmai această idealizare care ne permite să vorbim de fracţiuni de lume, fără ca persoana noastră să intre în joc. Succesele repurtate de această teză au condus la ideea generală a unei descrieri obiective a lumii, iar obiectivitatea a devenit principiul de apreciere a valorii unui rezultat ştiinţific. Dar „Interpretarea de la Copenhaga" a mecanicii cuantice mai corespunde ea încă acestui ideal ? în măsura posibilului, am putea răspunde noi. Cu siguranţă că teoria cuantică nu comportă caracteristici cu adevărat subiective, fiindcă ea nu introduce spiritul fizicianului ca parte a unui fenomen atomic. Ea pleacă însă de la împărţirea lumii între „obiect" şi restul lumii, precum şi de la faptul că folosim pentru descrierea noastră conceptele clasice, cel puţin în ceea ce priveşte restul lumii. Această împărţire este arbitrară şi decurge istoric şi direct din metoda noastră ştiinţifică. Folosirea conceptelor clasice nu e, în definitiv, decât o consecinţă a modului general în care gîndeşte omenirea. Acest fapt conţine însă deja o referire la noi înşine şi, din această oauză, descrierea noastră nu este complet obiectivă.

Am spus de la început că „Interpretarea de la Copenhaga" pleca de la un paradox, şi anume de la acela că experienţele noastre sînt descrise în termeni de fizică clasică, deşi sîntem conştienţi că aceste concepte nu se adaptează perfect naturii. Dezacordul între aceste două puncte de plecare este izvorul caracterului statistic al mecanicii cuantice. Acesta este motivul pentru care s-a sugerat cîteodată că ar fi necesară o îndepărtai'e totală de conceptele clasice şi că o schimbare revoluţionară a conceptelor folosite pentru descrierea experienţelor noastre ar putea să ne ducă eventual la o descriere nestatistică şi complet obiectivă a naturii.

Această ipoteză se bazează însă pe o eroare de interpretare. Conceptele fizicii clasice nu sînt decît o subtilizare a conceptelor vieţii zilnice şi formează o parte esen-

ţială a limbajului care stă la baza tuturor ştiinţelor naturii. Situaţia noastră în ştiinţă este aceea că în timp ce folosim de *fapt* conceptele clasice pentru a descrie experienţele, mecanicii cuantice i se p-me problema de a descoperi pe această bază o interpretare teoretică a experienţelor.

Nu e de nici un folos să discutăm ce s-ar putea face dacă am fi altfel de fiinţe. Am ajuns să înţelegem că, aşa cum a spus-o Weizsäcker, *„Natura a precedat omul, dar omul a precedat ştiinţele Naturii".* Prima parte a acestui citat justifică fizica clasică, cu idealul ei de obiectivitate totală, în timp ce partea a doua ne arată de ce nu putea scăpa de paradoxul teoriei cuantice, adică de necesitatea de a folosi conceptele clasice.

Este necesar să mai adăugăm cîteva comentarii asupra procesului folosit pentru interpretarea cuantică a fenomenelor atomice. Am spus că plecăm întotdeauna de la o împărţire a lumii în obiect (acela pe care urmează să-1 studiem) şi restul lumii, şi că această împărţire era, pînă la un anumit punct, arbitrară. Intr-adevăr, dacă am adăuga, de exemplu, la acest obiect al experienţei o parte sau ansamblul dispozitivului de măsură, şi dacă am aplica acestui obiect mai complex legile cuantice, ei bine, acest fapt n-ar trebui să schimbe absolut de loc rezultatul final. Se poate dovedi că o asemenea modificare a raţionamentului teoretic nu ar schimba previziunile privind o experienţă dată. Această concluzie rezultă matematic din faptul că legile cuantice sînt aproape identice cu legile clasice în fenomenele în care constanta lui Planck poate fi considerată ca foarte mică. Ar fi însă o eroare să credem că această aplicare a legilor cuantice la dispozitivul de măsură ar putea să ne ajute ca să evităm paradoxul fundamental al teoriei cuantice.

Dispozitivul de măsură nu merită acest nume decît dacă este în contact strîns cu restul lumii, adică dacă există interacţiune între el şi observator. Rezultă că incertitudinea în comportarea microscopică a lumii va apărea în sistemul cuantic atît în acest caz, cît şi în acela conform primei interpretări.

Dacă dispozitivul de măsură ar fi izolat de restul lumii, el n-ar mai fi un dispozitiv de măsură, astfel că ne-ar fi imposibil să-1 descriem cu ajutorul fizicii clasice.

în legătură cu aceasta, Bohr a subliniat că ar fi mai realist să spunem că împărţirea între obiect şi restul lumii nu e arbitrară. De fapt, atunci cînd facem cercetări în domeniul atomic ne găsim, de obicei, în faţa următoarei situaţii : dorim să înţelegem un anumit fenomen şi să ştim cum poate fi dedus acest fenomen din legile naturii. în consecinţă, porţiunea de materie sau de radiaţie care participă la fenomen este „obiectul" natural, căruia ar urma să-i aplicăm mecanismul cuantic şi care ar trebui să fie separat în acest sens de instrumentele folosite pentru studierea fenomenului. Aceste consideraţii scot din nou în evidenţă un element subiectiv al descrierii fenomenelor atomice, deoarece dispozitivul de măsură a fost construit de observator. Trebuie să reamintim că ceea ce observăm nu este natura în sine, ci natura expusă metodei noastre de investigaţie. în fizică, munca noastră constă din punerea de întrebări privind natura, în limbajul pe care-1 posedăm, precum şi din încercarea de o obţine printr-o experienţă un răspuns, cu ajutorul mijloacelor de care dispunem. Teoria cuantică ne conduce, aşa cum a spus-o Bohr, la vechea înţelepciune care cere ca atunci cînd încercăm să introducem armonia în viaţă, să nu uităm niciodată că în tragedia existenţei sîntem în acelaşi timp şi actori şi spectatori. Este uşor de înţeles că în relaţiile noastre ştiinţifice cu natura, propria noastră acţiune capătă o mare importanţă de fiecare dată cînd este vorba de domenii ale naturii în care nu putem pătrunde decît prin folosirea instrumentelor celor mai perfecţionate.

Extras din *Physique et Philosophie, La Science moderne en revolution.* Tradus din engleză de d-ra Jacqueline Hadamard. Publicat de editura Albin Michel, în 1961, în colecţia „Les savants et le monde“, condusă de dl. Andră George. Ediţia originală a apărut sub titlul : *Physics and Philosophy,* Harper and Brothers, New York.

Schimbarea atitudinii savantului faţă de natură

Vom începe printr-o trecere în revistă retrospectivă care se extinde pînă la rădăcinile istorice ale ştiinţelor modeme ale naturii. Atunci cînd această ştiinţă a fost fundată în secolul al XVII-lea de Kepler, Galilei şi Newton, mai persista încă acea imagine a naturii din evul mediu care vedea în natură, mai presus de orice, creaţia lui Dumnezeu. Natura era considerată drept opera Domnului. A pune întrebări asupra lumii materiale, fără a ţine seama de Dumnezeu, li s-ar fi părut oamenilor din vremea aceea un lucru lipsit de semnificaţie. Drept document al timpului aş vrea să citez cuvintele cu care Kepler îşi termină ultimul volum al *Armoniei cosmice : „Iţi mulţumesc Dumnezeule, Creatorul nostru, că mi-ai îngăduit să văd frumuseţea creaţiei tale şi să mă bucur de operele mîinilor tale. Iată, am terminat opera spre care m-am simţit chemat şi am pus în valoare talentul pe care mi l-ai dat. Am făcut cunoscută măreţia operelor tale şi, in măsura în care spiritul meu mărginit a putut să le înţeleagă, oamenii vor citi în această lucrare mărtu- riile“.*

In câteva zeci de ani însă, atitudinea omului faţă de natură s-a schimbat fundamental. Pe măsură ce savantul pătrundea în amănuntele fenomenelor naturii, el înţelegea într^adevăr, aşa cum începuse Galilei s-o facă, că din ansamblu puteau fi desprinse anumite fenomene ale naturii, formulîndu-le matematic şi deci „explicîndu-le“.

El recunoştea totuşi, în acelaşi timp, imensa sarcină care se impunea ştiinţelor naturii, pe cale să se nască.

Pentru Newton, deja, universul nu mai era doar opera lui Dumnezeu, susceptibil de conceput numai ca o totalitate. Atitudinea lui faţă de natură este exprimată cel mai bine prin aceste vorbe celebre : *„Aveam impresia că eram ca un copil care, jucîndu-se pe malul mării, era fericit să găsească din cînd în cînd âte o pietricică rotundă, mai netedă şi mai lucioasă, o scoică mai frumoasă decît celelalte, în timp ce nemărginitul ocean al adevărului se întindea necercetat în faţa lui".*

Schimbarea de atitudine a savantului faţă de natură ar putea fi explicată prin dezvoltarea gîndirii creştine din epoca aceea. Dumnezeu părea aşa de sus în cer şi aşa de departe deasupra pămîntului, încît considerarea pămîntului independent de Dumnezeu putea să capete şi ea un sens. în ceea ce priveşte ştiinţele modeme ale naturii, avem chiar dreptul să vorbim de o formă specific creştină de impietate, al cărei ecou poate fi găsit la Kam- lah. Aceasta ne dă posibilitatea să înţelegem motivul din care nici o evoluţie asemănătoare nu s-a produs în alte culturi. Probabil că nu din întâmplare natura a devenit, tocmai la vremea aceea, subiect al reprezentării artistice, independent de tema religioasă. A considera natura nu numai în afara lui Dumnezeu, ci şi în afara omului, astfel ca să se nască drept scop suprem descrierea sau explicarea „obiectivă" a naturii, corespunde complet acestei tendinţe. Trebuie subliniat tqtuşi că pentru însuşi Newton, scoica avea importanţă fiindcă ieşea din marele ocean al adevărului. Observarea scoicii nu este încă un scop în sine : a te consacra studiului ei nu capătă un sens decât prin coerenţa ansamblului.

în anii care au urmat, metoda mecanicii newtoniene a fost folosită cu succes în domenii din ce în ce mai extinse ale naturii. Se încerca, cu ajutorul experienţelor, ca din fenomenele naturii să se desprindă anumite părţi, care să fie observate obiectiv, pentru a fi înţelese potrivit cu „legile" valabile fără restricţii în cosmosul luat ca un întreg. A devenit posibil astfel, în cele din 118 urmă, să se folosească forţele naturale îin scopuri tehnice. Dezvoltarea grandioasă a mecanicii secolului al XVIII- lea stă mărturie a puterii

acestor prime încercări.

Transformarea semnificaţiei termenului „natură"

în măsura în care această ştiinţă era încununată de succes, ea se extindea dincolo de experienţa cotidiană, pînă la acele domenii îndepărtate ale naturii pe care putea să le facă accesibile doar o tehnică care se dezvolta concomitent cu ştiinţele naturii. Newton făcuse şi el pasul hotărâtor înţelegînd că aceleaşi legi care guvernează căderea unei pietre determină mişcarea Lunii în jurul Pământului, astfel că ele puteau fi aplicate şi la dimensiunile cosmice.

Şi apoi, ştiinţa îşi începu marşul triumfal în acele domenii îndepărtate ale naturii despre care nu ne putem informa decît prin intermediul tehnicii, adică prin intermediul unor aparate mai mult sau mai puţin complicate. Telescoape perfecţionate permiteau astronomiei să pună stăpînire pe spaţii cosmice din ce în ce mai vaste, prin observarea comportării materiei în reacţiile chimice, chimia încerca să recunoască fenomenele care se petreceau la nivelul atomilor, iar experienţele ce se făceau cu bobina de inducţie şi cu pila lui Volta permiteau pentru prima dată o privire generală asupra fenomenelor electrice, încă necunoscute în viaţa zilnică de pe atunci.

în măsura în care natura este un obiect al cercetării ştiinţifice, semnificaţia termenului „natură" s-a schimbat. Natura a devenit numele colectiv al tuturor domeniilor experienţei în care omul poate avea acces cu ajutorul ştiinţei şi al tehnicii, independent de faptul dacă pentru experienţa imediată aceste domenii erau socotite sau nu drept „natură".

Termenul „descriere" a naturii a început să piardă şi el, progresiv, semnificaţia lui primară de reprezentare vie şi frapantă a naturii. El căpăta din ce în ce mai mult sensul de descriere matematică, adică de cea mai precisă si mai condensată, dar si cea mai completă colecţie de informaţii asupra raporturilor sau legilor existente în natură.

Nu era deocamdată cazul să se considere această extindere a conceptului „natură" drept o părăsire, principială, a scopurilor primare ale ştiinţei, fiindcă principiile de bază şi determinante ale exeprienţei lărgite rămîneau cele ale experienţei naturale. în secolul al XVIII-lea, natura părea că se dezvoltă în spaţiu şi în timp, potrivit unor legi, şi descriind această dezvoltare, se putea face abstracţie de om şi de intervenţia lui, dacă nu în mod practic, cel puţin în principiu.

Drept element constant în evoluţia fenomenelor era considerată materia, cu masa ei inalterabilă, care putea fi pusă în mişcare de forţe. Experienţele chimice întreprinse şi interpretate cu succes, începînd cu secolul al XVIII-lea, datorită ipotezei atomului împrumutată de la filozofii antichităţii, au dat posibilitatea să se înţeleagă că atomii apăreau, ca şi în filozofia antică a naturii, ca fiind de fapt pietrele de construcţie inalterabile ale materiei. Ca şi în filozofia lui Democrit, calităţile sensibile ale materiei erau considerate drept aparente : mirosul sau culoarea, temperatura sau duritatea nu erau în realitate proprietăţi ale materiei, ci rezultau din interacţiunile materiei cu simţurile noastre. Aceste calităţi trebuiau explicate prin aranjamentul şi mişcarea atomilor şi prin efectul acestui aranjament asupra simţurilor noastre. Astfel a luat naştere imaginea simplificată a universului după concepţia materialismului secolului al XlX-lea : atomii — în măsura în care constituie realitatea inalterabilă propriu-zisă — se mişcă în spaţiu şi în timp, şi provoacă, prin dispoziţia şi prin mişcările lor reciproce, variatele fenomene ale universului nostru sensibil.

Criza concepţiei materialiste

In cursul celei de-a doua jumătăţi a secolului trecut, această imagine a universului a fost zdruncinată pentru prima dată — dar neperioulos deocamdată — de către dezvoltarea ştiinţei electricităţii, care considera cîmpul elec-

trie drept *realul* propriu-zis, şi nu materia. O acţiune reciprocă între cîmpuri electrice, fără o substanţă-suport al forţelor, era ceva mai greu de înţeles decît

reprezentarea materialistă a realităţii potrivit fizicii atomului. In imaginea lumii, care părea aşa de clară în toate celelalte domenii, intra un dement abstract şi neevident. Se încerca, aşadar să se revină — cu ajutorul eterului material, care trebuia să poarte aceste câmpuri electrice — la concepţia mai simplă a materiei, proprie filozofiei materialiste, dar fără nici un succes.

Exista totuşi o consolare în ideea că modificările câmpurilor electrice puteau fi considerate şi ele ca nişte procese desfăşurîndu-se în spaţiu şi în timp, că aceste cîmpuri puteau fi descrise obiectiv, adică fără referire la modul în care se făcea observaţia, şi că ele corespundeau astfel imaginii ideale în general admisă a unei dezvoltări în spaţiu şi în timp, potrivit legilor. Ceva mai mult, câmpurile electrice, observabile numai în acţiunea lor reciprocă cu atomii, puteau fi considerate ca provocate de aceştia, astfel că într-un anumit sens ele puteau fi folosite pentru a explica mişcarea atomilor. în aceste condiţii, atomii ră- mîneau la urma urmei tot realitatea propriu-zisă. Spaţiul vid dintre atomi, în calitatea lui de suport al câmpurilor electrice şi al geometriei, era considerat doar ca „un fel de realitate".

Pentru această imagine a universului, faptul că datorită descoperii, pe la sfîrşitul secolului trecut, a radioactivităţii, atomii chimici nu mai puteau fi consideraţi drept ultimele elemente indivizibile ale materiei, avea puţină importanţă. Atomii erau consideraţi mai degrabă compuşi din trei elemente fundamentale, pe care le numim astăzi protoni, neutroni şi electroni. Prin consecinţele sale practice, această descoperire a condus la transmutaţia elementelor şi la tehnica atomului, căpătând prin aceasta o imensă importanţă. însă chestiunea de principiu, şi anume aceea de a se şti dacă protonii, neutronii şi electronii trebuie consideraţi drept particulele elementare ale materiei şi drept realitate propriu-zisă, rămînea fără răspuns. Ceea ce importa pentru imaginea rnate- **21** rialistă a universului era posibilitatea de a se recunoaşte aceste infime pietre de construcţie — particulele elementare — drept ultima realitate obiectivă. Această imagine, solid construită, a universului secolului al XlX-lea şi al începutului secolului al XX-lea este aşezată pe aceste baze şi, datorită simplităţii ei,

ea şi-a păstrat, timp de mai multe zeci de ani, întreaga sa putere de convingere.

Dar tocmai în acest domeniu s-au produs în cursul secolului nostru modificări profunde ale fundamentelor fizicii atomului, modificări care ne îndepărtează de concepţia realistă a filozofiei atomiste antice. Se spera că aceste particule elementare ar reprezenta realitatea obiectivă. S-a constatat însă că aceasta era o simplificare prea grosolană a faptelor reale şi că, de aceea, ea trebuia să cedeze locul unor concepţii mult mai abstracte. Fiindcă, dacă vrem să obţinem o imagine a naturii acestor particule elementare, nu mai putem face abstracţie de principiul existenţei proceselor fizice care ne dau informaţii despre ele. Atunci cînd observăm obiecte ale vieţii noastre de toate zilele, procesul fizic, care face posibilă observaţia, nu joacă decît un rol secundar, spre deosebire de particulele elementare ale materiei, la care procesul de observaţie provoacă perturbaţii considerabile, astfel că ne este imposibil să mai vorbim de comportarea particulei, fără să ţinem seama de procesul de observaţie, în consecinţă, legile naturale pe care le formulăm matematic în teoria cuantelor nu mai privesc .particulele elementare propriu-zise, ci cunoaşterea pe care o avem despre ele.

Chestiunea de a şti dacă aceste particule există ‚p>rin ele însele" în spaţiu şi în timp nu mai .poate fi pusă deci sub această formă. De fapt, nu putem vorbi decît de evenimente care se desfăşoară atunci cînd prin acţiunea reciprocă a particulei cu indiferent ce alt sistem fizic, de exemplu cu instrumentele de măsură, încercăm să cu - noaştem comportarea particulei.

Concepţia realităţii obiective a particulelor elementare s-a dizolvat în mod .ciudat nu în ceaţa unei noi concepţii a realităţii, obscură sau rău înţeleasă, ci în lumina transparentă a unei matematici care nu mai reprezintă comportarea particulei elementare, ci cunoaşterea pe care o avem despre această comportare. Campionii atomismu-

lui au trebuit să se aplece în faţa faptului că ştiinţa lor nu este decît o verigă din lanţul infinit al dialogurilor dintre om şi natură şi *că ea nu mai poate vorbi în mod simplist despre o natură „în sine"*. Ştiinţele naturii presupun existenţa prealabilă a omului şi, aşa cum a spus Bohr, trebuie să ne dăm seama că în teatrul vieţii nu sîntem numai spectatori, ci şi actori.

Acţiunea reciprocă a tehnicii şi a ştiinţelor naturii

înainte de a vorbi de consecinţele generale care decurg din această nouă situaţie a fizicii modeme, este necesar să evocăm dezvoltarea tehnicii, mult mai importantă pentru viaţa practică de pe pămînt şi care se produce în paralel cu dezvoltarea ştiinţelor naturii. Plecînd din Occident, această tehnică a răspîndit ştiinţele naturii pe întregul pămînt, aşezîndu-le în centrul gîndirii contemporane. în procesul acestei dezvoltări din cursul ultimelor două secole, tehnica a fost permanent condiţia şi consecinţa ştiinţelor naturii. Ea este condiţia ştiinţelor naturii, fiindcă extinderea şi aprofundarea ştiinţei nu se pot produce adesea decît prin perfecţionarea mijloacelor de observaţie. Este suficient să ne gîndim la invenţia lunetei şi a microscopului sau la descoperirea radiaţiilor Roentgen. Ea este, pe de altă parte, şi consecinţa ştiinţelor naturii, fiindcă exploatarea tehnică a forţelor naturale nu devine, în general, posibilă decît datorită unei cunoaşteri aprofundate în domeniul experienţei respective.

în felul acesta s-a dezvoltat, în secolul al XlX-lea şi la începutul secolului al XX-lea, o tehnică bazată pe exploatarea fenomenelor mecanice. în aceste cazuri, maşina nu face altceva decît să imite mina omului, fie că e vorba de tors sau de ţesut, de ridicarea greutăţilor sau de forjarea marilor blocuri de fier. Din această cauză, această formă a tehnicii a fo|st considerată mai întîi ca o continuare şi dezvoltare a vechiului artizanat. Pentru neiniţiaţi, ea apărea tot aşa de uşor de înţeles şi de evidentă ca şi vechile războaie de ţesut, ale căror principii

de funcţionare erau cunoscute de toată lumea, deşi dibăcia cu care lucrau nu putea fi imitată. Chiar introducerea maşinii cu abur n^a schimbat deocamdată, cel puţin în principiu, nimic din caracterul tehnicii. însă începînd cu această introducere, tehnica s-a dezvoltat în proporţii necunoscute pînă atunci, fiindcă acum forţele naturale concentrate în cărbune puteau fi puse la dispoziţia omului, ca să înlocuiască munca manuală.

O dezvoltare hotărâtoare a caracterului tehnicii nu s-a produs totuşi decît o dată cu dezvoltarea electrotehnicii în cea de-a doua jumătate a secolului trecut. Nu se mai putea vorbi în acest caz de o legătură directă cu vechile războaie de ţesut, ci de exploatarea unor forţe naturale care, reduse la experienţa directă, erau aproape necunoscute omului. Aceasta este cauza pentru care electricitatea mai rămîne încă înspăimântătoare pentru o mulţime de oameni sau, cel puţin, de neînţeles, deşi ea ne înconjură din toate părţile.

Este adevărat că un cablu de înaltă tensiune, de care este periculos să ne apropiem, ne dă, într-o anumită măsură, noţiunea de cîmp electric, însă, în fond, acest domeniu al naturii ne rămîne încă necunoscut. A privi în interiorul unui aparat electric complicat ne este cîteodată tot aşa de penibil ca şi a asista la o operaţie chirurgicală.

De asemenea, şi tehnica chimiei ar putea fi considerată ca o continuare a unor anumite meserii vechi, ca, de exemplu, vopsitoria, tăbăcăria şi farmacia. Dar şi în acest caz, extinderea noii tehnici a chimiei, dezvoltată către începutul acestui secol, nu ne mai îngăduie nici o comparaţie cu ceea ce a fost odată.

în fine, în ceea ce priveşte tehnica atomului, este vorba de exploatarea unor forţe ale naturii la care nu avem acces prin nici o experienţă a lumii naturale. Este posibil ca această tehnică să devină şi pentru noi tot aşa de familiară ca şi electrotehnica pentru omul de pe stradă, căruia i se va părea de neconceput să n-o găsească în lumea care îl înconjură direct. Dar, chiar şi lucrurile care ne înconjură în viaţa de toate zilele nu devin, datorită acestui fapt, o parte *a naturii,* în sensul originar al cuvântului. în viitor, numeroasele aparate tehnice vor deveni poate tot aşa de nedespărţit de om ca şi cochilia, de melc, şi pînza, de păianjen. Dar şi în acest caz *aceste*

aparate vor fi mai degrabă părţi ale organismului omenesc, decît părţi ale naturii înconjurătoare.

Intervenţia tehnicii în raporturile dintre natură şi om

Intervenţia tehnicii în raporturile dintre natură şi om se manifestă prin aceea că ea transformă pe scară largă lumea înconjurătoare, arătîndu-i omului neîncetat şi inevitabil aspectul ştiinţific al universului. Tehnica reflectă năzuinţa ştiinţei de a pătrunde în cosmos cu ajutorul unei metode capabile să desprindă şi să examineze amănuntul, mergînd în felul acesta din raport în raport. Pas cu pas, ea înaintează în domenii noi şi transformă sub ochii noştri lumea înconjurătoare, însemnînd-o cu pecetea umană.

După cum în ştiinţele naturii fiecare chestiune de amănunt se subordonează marii sarcini de înţelegere a naturii în ansamblul ei, tot aşa un progres tehnic cît de mic serveşte scopului general : mărirea puterii materiale a omului. Valoarea acestui scop este tot aşa de puţin discutabilă ca şi valoarea cunoaşterii naturii pentru ştiinţă. Aceste două scopuri se reunesc în fojmulabanală : „a şti înseamnă a putea".

Deşi subordonarea fiecărui proces tehnic particular la scopul general poate fi susţinută, totuşi, pentru dezvoltarea integrală este caracteristic faptul că procesele tehnice particulare sînt legate adesea de scopul general într-un mod aşa de indirect, încît nu mai pot fi considerate aproape de loc drept părţi ale unui plan conştient elaborat în acest scop. în aceste cazuri, tehnica aproape că nu mai apare ca un produs al eforturilor conştiente ale omului în vederea măririi puterii lui materiale, ci, mai degrabă, ca un fenomen biologic pe scară largă, în decursul căruia structurile interne ale organismului uman sînt transferate din ce în ce mai mult în lumea înconjurătoare. Avem de-a face deci cu un proces biologic care, prin însăşi natura lui, este sustras de sub controlul omului, fiindcă *„chiar dacă omul poate face ce vrea, el nu poate voi ceea ce vrea".*

Tehnica şi transformarea modului de viaţă

S-a spus adesea că transformarea profundă pe care era tehnicii o aduce lumii noastre înconjurătoare şi modului nostru de viaţă a modificat de asemenea, şi într-un mod periculos, gîndirea noastră, şi că în acest fapt trebuie căutat izvorul crizelor care zdruncină vremea noastră şi care se fac simţite, de exemplu, în arta modernă. La drept vorbind, această învinuire este anterioară tehnicii şi ştiinţelor naturii din timpurile moderne. Sub o formă primitivă, tehnica şi maşinile existau de multă vreme, astfel că oamenii trecutului au fost şi ei obligaţi să mediteze asupra acestor probleme. Sînt două milenii şi jumătate, de exemplu, de cînd savantul chinez Dschu Ang Dsi vorbea de pericolul pe oare-1 reprezenta folosirea maşinilor pentru om. Aş vrea să citez aici un pasaj din scrierile sale, care este important pentru subiectul nostru.

„Pe cînd Dsi Gung străbătea regiunea de la nord de rîul Han, văzu un om bătrîn lucrînd în grădina lui de zarzavat, în care construise canale de irigaţie. (Bătrînul cobora în puţuri şi urca în braţele \sale un r»as plin cu apă pe care-l golea în canale. Deşi se străduia din itoate puterile, munca lui era de puţin folos.

Dsi Gung spuse : există un Imijloc de a iriga o sută de canale intr-o singură zi. ‚Cu puţină osteneală, poţi ajunge la rezultate însemnate. Nu vrei să-l foloseşti ?

Grădinarul se ridică, îl privi şi spuse : Şi care este mijlocul acesta ?

Dsi Gung spuse : iei o pîrghie ide *lemn, grea spre coadă şi uşoară în partea din faţă. Aşa poţi \scoate apa din adîncime.*

Pe faţa moşneagului se arătă mînia, şi el (răspunse cu un rîset :

L-am auzit pe magistrul meu spunînd : acela care foloseşte maşinile îşi face treburile ca o maşină. Acela

care-şi face treburile ca o maşină capătă io *inimă de maşină. Iar acela care are* o *inimă de maşină în (pieptul 'lui îşi pierde nevinovăţia lui curată. Iar omul \care şi-a pierdut nevinovăţia lui curată <nu mai este sigur \de impulsurile spiritului său. Nesiguranţa /spiritului nu se (poate împăca cu judecata adevărată. Nu că n-aş cunoaşte aceste lucruri, dar mi-ar fi Ruşine să mă (servesc de ele".*

Fiecare dintre noi simte că această poveste de demult conţine o pante însemnată de adevăr, fiindcă „nesiguranţa în impulsurile spiritului" este poate expresia care descrie în modul cel mai izbitor starea oamenilor în criza actuală. Tehnica şi maşina au invadat lumea într-o măsură pe care înţeleptul chinez nu putea s-o bănuiască. Şi totuşi, minunate opere de artă au mai fost create cu două mii de ani mai tîrziu, iar nevinovăţia spiritului de care vorbeşte filozoful n-a fost nicicând cu totul pierdută, ci s-a manifestat cu mai multă sau mai puţină forţă în cursul secolelor următoare, fără să înceteze a fi fecundă. Intr-un cuvînt, ridicarea la un nivel superior a rasei umane s-a produs datorită uneltelor. Nu i se poate imputa deci tehnicii în sine pierderea simţului de coeziune a ansamblului, observată în multe domenii.

Ne vom apropia poate de adevăr, împuţind responsabilitatea pentru numeroasele complicaţii care s-au ivit, dezvoltării neaşteptate şi rapide (în comparaţie cu transformările anterioare) a tehnicii în cursul ultimilor cincizeci de ani. într-adevăr, această dezvoltare rapidă, în comparaţie cu secolele trecute, n-a lăsat pur şi simplu omenirii timpul să se adapteze noilor condiţii de viaţă. Dar chiar şi acest fapt nu explică de loc, sau explică numai în parte, motivul pentru care epoca noastră se află evident înaintea unei situaţii noi, care nu-şi găseşte asemănare în istorie.

De acum înainte omul se află singur, cu el însuşi

Am spus de la început, că transformarea fundamentelor ştiinţei modeme a naturii ar putea fi considerată ca

un simptom al schimbării bazelor existenţei noastre, schimbare care se manifestă simultan în multe domenii, fie că este vorba de modificări ale modului nostru de viaţă şi ale deprinderilor noastre de a gîndi, sau de catastrofe externe ca războaiele sau revoluţiile. Dacă încercăm ca, pornind de la situaţia ştiinţelor modeme ale naturii, să înaintăm pas cu pas către temeliile mişcătoare, putem spune, fără să avem impresia că simplificăm prea grosolan împrejurările, că *pentru prima dată în cursul istoriei, omul se găseşte singur, cu el însuşi, pe acest pămînt,* fără partener şi fără adversar.

Această afirmaţie reprezintă un adevăr banal, atunci cînd este vorba de lupta omului contra pericolelor exterioare. în trecut, omul era ameninţat de animalele sălbatice, de boli, de foame, de frig şi de alte forţe naturale, iar în această luptă orice îmbunătăţire a tehnicii însemna o întărire a poziţiei lui, adică un progres. în epoca noastră, cînd populaţia pămîntului se face din ce în ce mai deasă, restrângerea posibilităţilor de viaţă, şi deci şi pericolele, sînt provocate, în primul rînd, de ceilalţi oameni, care îşi revendică şi ei dreptul la bunurile pămîntului. în această situaţie însă, dezvoltarea tehnicii nu mai este în mod necesar un progres. Expresia *„omul se află singur cu el însuşi“* are o aplicaţie mult mai mare în era tehnicii.

Altădată, omul stătea faţă în faţă cu natura locuită de făpturi de toate soiurile. Natura constituia un regat care trăia după legile sale proprii, la care omul trebuia să se adapteze într-un fel sau altul. Astăzi, trăim într-o lume aşa de adânc transformată de om, încât la fiecare pas întîlnim structurile al căror autor este el : folosirea instrumentelor în viaţa de toate zilele, pregătirea hranei de către maşini, transformarea peisajului etc., astfel că omul nu se întâlneşte decât pe el însuşi.

Mai există, fără-ndoială, părţi ale pămîntului unde acest proces este încă departe de a fi fost terminat, însă, mai curînd sau mai tîrziu, stăpînirea omului va trebui să fie totală.

Această situaţie nouă apare mai clar în ştiinţa modernă a naturii. După cum am arătat şi mai sus, ea ne arată că nu mai putem considera drept „lucru în

sine“ pietrele de construcţie ale materiei, care erau considerate la început drept realitatea obiectivă ultimă şi care se sustrag oricărei fixări obiective în spaţiu şi în timp, şi că în fond nu dispunem, drept singur obiect al ştiinţei, decît de cunoaşterea pe care o avem despre aceste particule.

Cunoaşterea atomilor „în sine“, adică independent de observaţia experimentală, nu mai este deci scopul cercetării. Ne găsim mai degrabă, de la început, în cadrul unui dialog între natură şi om, dialog din care ştiinţa nu reprezintă decât o .pante, astfel că împărţirea convenţională a lumii în subiect şi obiect, în lume interioară şi lume exterioară, în corp şi suflet nu mai poate fi folosită şi ridică dificultăţi. Pentru ştiinţele naturii, de asemenea, *subiectul cercetării nu mai este deci natura în sine, ci natura expusă întrebărilor omului,* astfel că, şi în acest domeniu, omul nu se întîlneşte din nou decît cu el însuşi.

Este evident că sarcina epocii noastre este acomodarea la această nouă situaţie, în toate domeniile vieţii, şi că omul nu va putea să-şi regăsească *„siguranţa în impulsurile spiritului"* despre care vorbeşte savantul chinez, decît după ce această sarcină va fi fost îndeplinită. Drumul care duce spre acest scop va fi lung şi diureros, şi nu putem şti prin ce etape de suferinţă vom trebui să trecem. Pentru a afla cîteva indicii despre particularităţile acestui drum, ne luăm permisiunea să reamintim exemplul ştiinţelor exacte ale naturii.

Un nou concept al adevărului ştiinţific

în teoria cuantică s-a acceptat situaţia descrisă mai sus de îndată ce a fost posibil să fie formulată matematic, ceea ce a permis să se prevadă cu precizie rezultatul unei experienţe, fără riscul unei contradicţii logice. De îndată ce s-a înlăturat tot ce era nelămurit, noua situaţie a fost deci acceptată.

Din momentul acela, formulele materrtatice nu mai reprezentau natura, ci cunoaşterea noastră despre

natură. Aceasta înseamnă că am renunţat la descrierea naturii aşa cum era practicată de secole, descriere care —nu cu mai mult de cîteva zeci de ani înainte — era considerată drept scopul normal al oricărei ştiinţe exacte. Deocamdată, trebuie să ne mărginim a spune/că această acceptare se extinde numai la domeniul fizicii atomului, din cauză că avem posibilitatea să descriem exact experienţele. Imediat ce este vorba însă de interpretarea filozofică a teoriei cuantelor, părerile diferă. Auzim spu- nindu-se, atunci cînd se prezintă ocazia, că această formă nouă de descriere a naturii este deocamdată nesatisfăcătoare fiindcă nu corespunde vechiului ide'al al adevărului ştiinţific, că ea este un simptom al crizei actuale şi că, în orice caz, nu este definitivă.

Fiindcă a venit vorba de aceasta, ar fi util să examinăm conceptul *„adevărului ştiinţific"* într-un mod mai general, pentru a găsi criteriile unei cunoaşteri ştiinţifice coerente şi definitive. Să începem cu un criteriu mai degrabă exterior. Atîta vreme cît un domeniu oarecare al vieţii intelectuale se dezvoltă în mod constant şi fără discontinuitate internă, omului care lucrează în acest domeniu i se pun diverse chestiuni de detaliu, care sînt, ca să spunem aşa, doar nişte chestiuni tehnice, a căror soluţie nu este o problemă în sine, dar care are o valoare din punctul de vedere al coeziunii marelui ansamblu, singurul cu adevărat important. Aceste chestiuni de detaliu se pun de la sine, fără să fie nevoie ca noi să le provocăm, iar a lucra la soluţia lor este condiţia de a colabora la ansamblu. Aşa s-a întîmplat cînd sculptorii evului mediu s-au silit să redea cît mai exact posibil cutele unui veşmînt : soluţia acestei probleme de detaliu era necesară fiindcă cutele veşmîntului unui sfînt făceau parte din ansamblul religios spre care se năzuia.

Asemenea chestiuni de detaliu s-au pus şi se pun permanent în ştiinţa modernă a naturii, iar răspunsul care li se dă este o condiţie a înţelegerii ansamblului. In cursul dezvoltării care s-a produs în ultimii cincizeci de ani, aceste chestiuni s-au pus de la sine, iar scopul permanent a fost acelaşi mare ansamblu al legilor naturale.

Din acest punct de vedere nu există nici un motiv exterior ca în ştiinţa exactă a naturii să se producă vreo soluţie de continuitate.

în ceea ce priveşte rezultatele definitive însă, trebuie reamintit că, în sfera ştiinţei exacte a naturii, nu a existat niciodată soluţie definitivă decît în anumite domenii limitate de experienţă. Problemele pe care le pot pune conceptele mecanicii newtoniene, de exemplu, şi-au găsit o soluţie definitivă în legile lui Newton şi în concluziile matematice care au rezultat din ele. Aceste soluţii nu depăşesc însă conceptele mecanicii newtoniene şi chestiunile pe care aceste concepte le pun. Din această cauză, ştiinţa electricităţii, de exemplu, nu a mai fost accesibilă unei analize bazate pe aceste concepte. în cursul cercetărilor făcute în acest domeniu nou al experienţei, au trebuit să fie elaborate noi sisteme conceptuale, cu ajutorul cărora legile naturale ale ştiinţei electricităţii au putut să capete o formulare matematică definitivă.

Termenul „definitiv", aplicat ştiinţelor exacte ale naturii, înseamnă deci că există sisteme de concepte şi de legi care formează o totalitate închisă, care pot fi formulate matematic şi care sînt valabile pentru anumite domenii ale experienţei. în aceste domenii, sistemele de concepte şi de legi au o valabilitate universală şi nu sînt apte să sufere nici transformări, nici ameliorări. Fireşte că nu putem spera ca ele să reprezinte mai tîrziu noi domenii ale experienţei. Conceptele şi legile teoriei cuantice nu pot, nici ele, să fie numite definitive decît în acest sens limitat. Şi doar în acest sens limitat, şi numai în acest sens, cunoaşterea ştiinţifică va putea ajunge să fie fixată definitiv într-un limbaj matematic sau altul.

într-un mod analog, anumiţi filozofi ai dreptului admit că deşi dreptul există veşnic, totuşi, pentru fiecare caz juridic ar trebui găsită în principiu o nouă lege, că legea scrisă nu poate fi aplicată decît în domenii limitate ale vieţii şi că de aceea ea nu poate avea o valabilitate permanentă. Ştiinţele exacte ale naturii pleacă şi ele de la ideea că pînă la urmă ne va fi posibil să înţelegem natura în fiecare nou domeniu al experienţei, însă cum sensul termenului „a înţelege" nu

a fost fixat *a priori,* cunoaşterea naturii, formulată matematic pentru epoci anterioare, nu este întotdeauna aplicabilă, deşi este considerată ca „definitivă".

Această stare de lucruri face de asemenea imposibilă fundarea pe cunoaşterea ştiinţifică a profesiunilor de credinţă destinate să influenţeze comportarea noastră în viaţă. Motivarea lor nu s-ar putea baza decît pe o cunoaştere ştiinţifică definitivă, care însă nu se poate aplica decît la domenii limitate ale experienţei. Profesiunile de credinţă exprimate în vremea noastră, care încep adesea prin a afrimia că în ele nu este vorba de credinţă, ci de o cunoaştere bazată pe ştiinţă, conţin deci o contradicţie internă şi sînt clădite pe o autoiluzie.

Şi totuşi, această constatare nu trebuie să ne conducă la subestimarea soliditǎţii fundamentului pe care stă aşezat edificiul ştiinţelor exacte ale naturii. Conceptul de adevăr ştiinţific, care este fundamentul acestor ştiinţe, poate include în el numeroase moduri de a înţelege natura. în afară de ştiinţele naturii din secolele trecute, acest concept cuprinde de asemenea şi fizica modernă. Rezultă că avem posibilitatea să ne acordăm unei stări de cunoaştere în care obiectivizarea naturii nu mai este posibilă, dar în care putem totuşi stabili raporturi cu ea.

Dacă ne este permis să vorbim de o imagine a naturii conformă cu ştiinţele exacte ale vremii noastre, atunci trebuie să înţelegem prin ea nu atît imaginea naturii, *cît imaginea raporturilor noastre cu natura.* Vechea împărţire a universului într-o dezvoltare obiectivă în spaţiu şi timp pe de o parte, şi într-un spirit care reflectă această dezvoltare pe de altă parte — împărţire care corespunde aceleia a lui Descartes în *res cogitans* şi *res extensa* — nu mai este potrivită ca să ne servească drept punct de plecare atunci cînd vrem să înţelegem ştiinţele moderne ale naturii.

Scopul central al acestor ştiinţe este mai presus de toate reţeaua raporturilor dintre om şi natură. Datorită acestor raporturi, noi sîntem — în calitatea noastră de fiinţe fizice vii — părţi dependente de natură, în timp ce — în calitatea noastră de oameni — reprezentăm obiectul gîndirii şi al acţiunilor noastre. începînd de a mai fi un spectator al naturii, ştiinţa se recunoaşte şi ea drept

parte a acţiunilor reciproce dintre natură şi om. Metoda ştiinţifică, care selecţionează, explică şi ordonează, acceptă limitele care i-au fost impuse, prin faptul că folosirea metodei îi transformă obiectul şi că de aceea metoda nu se mai poate despărţi de obiectul ei. Aceasta înseamnă că *imaginea universului conformă cu ştiinţele naturii încetează — la drept vorbind — de a mai fi o imagine a universului conformă cu ştiinţele naturii.*

Sîntem conştient! de pericolul situaţiei noastre

Faptul că am clarificat aceste paradoxuri într-un domeniu ştiinţific restrîns nu prezintă un folos prea mare pentru situaţia generală a epocii noastre, în care, pentru a relua formula noastră simplificată, ne aflăm singuri cu noi înşine. Speranţa într-un progres sigur, datorită puterii materiale şi spirituale a omului, îşi găseşte o limită chiar în această situaţie, deşi nu putem face altceva decît s-o întrezărim. Pericolele sînt cu atît mai mari, cu cît valul de optimism care ne face să credem în acest progres se loveşte mai tare de această limită. O altă metaforă va face poate ca acest pericol să devină şi mai evident. Datorită unei creşteri, în aparenţă nelimitată, a puterii ei materiale, omenirea se află în situaţia unui căpitan a cărui navă ar fi construită dintr-o cantitate aşa de mare de oţel şi fier, încît busola compasului lui, în loc să indice nordul, nu s-ar orienta decît spre masa metalică a navei. O asemenea navă n-ar ajunge nicăieri. Expusă vînturilor şi curenţilor, singurul lucru pe care l-ar putea face ar fi acela de a se învîrti într-un cerc.

Să revenim însă la fizica modernă. La drept vorbind, pericolul subzistă atîta timp cît căpitanul nu ştie că compasul lui nu mai reacţionează la forţa magnetică a Pămîntului. în clipa cînd înţelege acest lucru, pericolul este îndepărtat pe jumătate. Fiindcă acel căpitan care nu va dori să se-nvîrtească în cerc, ci să atingă o ţintă cunoscută sau necunoscută, va găsi un mijloc ca să-şi conducă nava, fie folosind noile compasuri modeme care nu reacţionează la masa de fier a vasului, fie

orientîndu-se după stele, aşa cum se făcea pe timpuri. Este adevărat că vizibilitatea stelelor nu depinde de noi şi că, poate, in vremea noastră nu le vedem decît rareori, însă, în orice caz, faptul că sîntem conştienţi de limitele speranţei pe care o exprimă credinţa în progres conţine dorinţa de a nu ne învîrti în cerc, ci de a atinge o ţintă. în momentul în care recunoaştem această limită, ea devine primul punct fix, care ne permite o nouă orientare. Comparaţia cu ştiinţele modeme ale naturii ne permite poate să sperăm că avem de-a face cu limita unor anumite forme de dezvoltare din domeniul vieţii omeneşti şi nu cu o limită a vieţii propriu-zise. Spaţiul în care se dezvoltă omul în calitatea lui de fiinţă spirituală are mai multe dimensiuni în comparaţie cu singura dimensiune în care s-a dezvoltat activitatea lui în cursul ultimelor secole. S-ar putea conchide că după perioade îndelungate de timp, acceptarea conştientă a acestei limite va conduce la o anumită stabilizare, în care cunoştinţele şi forţele creatoare ale omului se vor ordona de la sine în jurul unui centru comun.

Extras din *La nature dans la physique conte mporaine.* Traducere a lui A. E. Leroy, apărută în 1962, la Editions Gallimard, în colecţia „Idăes".

Lexic parţial

Bozoni : Bozonul este o particulă Einstein (cum este fotonul Bose-Einstein apare într-un cînd funcţia de undă nu se turor coordonatelor. Bozonii care urmează statistica Bose- şi mezonul). Legea statistică ansamblu de particule, atunci schimbă prin intervertirea tu- au spinuri întregi : 1, 2, 3 etc.

Fermioni: Fermionul este o particulă care urmează statistica Fermi-Dirac. Fermioni sînt electronii, nucleonii, miuonii, neutrinii, hiperonii. Legea lui Fermi—Dirac, care este şi ea statistică, arată în primul rînd că particulele „fermioni" au un spin cu număr semiîntreg : 1/2, 3/2, 5/2 etc. Ea mai arată că doi fermioni nu pot ocupa aceeaşi stare cuantică şi exprimă felul în care fermionii se distribuie într-un ansamblu.

Spin: Vine de la cuvintul englezesc to *spin (a se* roti). Spinul este momentul cinetic propriu al unei particule (de exemplu, al electronului), sau al unui sistem de particule (de exemplu, al unui nucleu, atom etc.). Spinul este caracterizat nu numai de o valoare numerică, ci şi de orientarea lui în spaţiu (direcţia lui în raport cu un sistem de referinţă). Unitatea de spin este h/2jt. Particulele fundamentale (electroni, nucleoni, neutrini) au un spin numit semiîntreg, egal cu o semiunitate cuantică, adică cu h/4jr. In interacţiunile particulare, spinurile se adună sau se

scad, după cum sînt paralele (adică atunci cînd particulele considerate se rotesc în acelaşi sens) sau antiparalele (atunci cînd o particulă se roteşte într-un sens invers celeilalte).

Datorită spinului, particulele sînt dotate cu proprietăţi magnetice : rotindu-se, ele se comportă ca nişte mici magneţi, ai căror poli sînt orientaţi aproximativ de-a lungul axei lor de rotaţie.

Subcuantic (mediu) : „Mediul subcuantic" ar fi oarecum însăşi „urzeala" universului, un fel de rezervor din care s-ar condensa masa în procesele de „materializare" şi în care această masă s-ar „topi" în timpul proceselor de „dematerializare". Mediul subcuantic ar fi materia (protomateria) sub forma ei cea mai „diluată" şi substratul transformărilor de energie în masă, şi invers. Dl. Louis de Broglie a vorbit despre un „freamăt de natură necunoscută" care se propagă în spaţiu în cursul timpului. J. P. Vigier vorbeşte despre o „substanţă submicroscopică haotică şi extinsă". El scrie : *„La nivelul submicroscopic, ansamblul naturii ar putea fi asimilat unui fel de substanţă materială unică, înzestrată cu mişcări turbionare şi haotice violente. Corpus- culele n-ar fi în acest caz nimic altceva decît nişte unde de amplitudine slabă, comparabile, într-un anumit sens, cu undele sonore care se propagă în lichide. Dacă această ipoteză este corectă, am putea înţelege transformările cor- pusculelor unele în altele drept simple variaţii bruşte ale stării ondulatorii a acestei substanţe".* Şi adaugă : *„Potenţialul cuantic introdus de de Broglie capătă astfel un sens nou. El reprezintă efectul fluctuaţiilor haotice ale substanţei fundamentale submicroscopice pe undele care se propagă acolo".* (în „Recherches Internationales", nr. 4, septembrie-octombrie 1957, *Physique,* pp. 157—158).

Empiriocriticism : Doctrina lui Avenarius şi a lui Mach (Germania, secolul al XlX-lea), înrudită cu idealismul, pozitivismul şi agnosticismul, conform căreia ştiinţa este numai o cunoaştere subiectivă şi relativă. în timp ce Kant stabilea un compromis între materialism şi idealism (doctrină conform căreia lumea exterioară, adică aceea a cunoaşterii noastre,

se reduce la reprezentările pe care le avem despre ea), Mach, plecînd şi el de la critica kantiană, revine la Berkeley (idealism) şi la Hume, al căror empirism deduce toate principiile cunoaşterii din raţiunea umană care interpretează senzaţiile din care experienţa îşi trage originea.

1930 *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*
1943 *Physik der Atomkerne*
1943 *Vorträge liber kosmische Strahlung*
1945 *Wandlungen in den Grundlagen der Natuncissenschajt*
1955 *Das Naturbild der heutigen Physik*
1958 *Physics and Philosophy,* New York

Traduceri în limba franceză

1932 *Les principes physiques de la theorie des quanta,* Ed. Gau- thier—Villars.
1954 *La Physique du noyau atomique,* traducere de Charles Peyron, prefaţă de Louis Leprince-Ringuet, colecţia „Scien- ces d'Aujourd'hui", Ed. Albin Michel.
1961 *Physique et philosophie,* traducere de Jacquelitne Hadamard, colecţia „Les savanta et le monde", Ed. Albin Michel.
1962 *La Nature dans la physique contemporaine,* colecţia

„Idăes", Ed. Gallimard.

Bibliografie generală

{Lucrări consultate)

A uger Pierre, *L'homme microscopique,* Flammarion.

Berthelot An d r e, *De l'atome ă l'energie nucleaire,* Buchet-Chastel.

Biquard Pierre, F., *Joliot-Curie* et *l'energie atomique,* Seghers.

Bohr Niels, *Physique atomique et eonnaissance humaine,* Gonthier. *Les principes physiques de la theorie des quanta,* Gauthier-Villars.

Broglie Louis de, *La physique nouvelle et les quanta,* Flammarion. *Nouvelles perspectives en microphysique,* Albin Michel. *Sur les sentiers de la science,* Albin Michel.

Brillouin L 6 o n, *Vie, matiire, et organisation,* Albin Michel.

Charon J. E., *La eonnaissance de l'univers,* Ed. du Seuil. *Du temps, de l'espace, et des hommes,* Ed. du Seuil.

Chelet Yves, *L'energie nucleaire,* Ed. du Seuil.

Cogniot Georges, *Lucrece. De la nature des choses,* Ed. Sociales.

Costa de Beauregard O., *Le second principe de la science du temps,* Ed. du Seuil.

Cuny Hi lai re, *La science nucleaire,* Buchet-Chastel, *L'atome,* Encyclopddie des Sciences. *Albert Einstein et la relativite,* Seghers. *Armes nucleaires,* Gedalge. *Frederic et Ir&ne Joliot-Curie,* Ed. Sociales.

Destouches J. L., La *physique mathematique,* P.U.F.

D u c r o c q Albert, *L'atome,* Hachette.

Duquesne Maurice, *Matiere et antimatiere,* P.U.F.

Einstein Albert, *Conceptions scientifiques, morales, et sociales,* Flammarion. *La theorie de la relativite restreinte et generale,* Gauthier-Villars.

Infeld Lâopold, *L'evolution des idees en physique,* Flammarion.

E n g e 1 s, F., *Dialectique de la nature,* Ed. Sociales.

G a m o w G., *La gravitation,* Payot.

G 1 a d k o v K., *L'energie de l'atome,* Ed. en langues dtrangeres, Moscou.

II el mut, Cari, *Les secrets de la matiere.* Ste Gle d'Edition.

J o 1 i o t-C u r i e, F., et I., *Oeuvres completes,* P.U.F.

Jordan Pasc u al, *La physique et le secret de la vie organique,* Albin Michel.

Jungk Robert, *Plus clair que miile soleils,* Arthaud.

Kant Emmanuel, *Critique de la raison pure,* P.U.F.

K el Ier V., *L'univers des physiciens,* Ed. de la Paix, Moscou. Kourganov VI ad i m ir, *Initiation â la theorie de la rela- tivite,* P.U.F.

Langevin Paul, *La pensee et l'action,* Ed. Sociales.

Leithauser Joachim, *Werner Heisenberg,* Colloquium Verlag, Berlin.

L6n i ne V., *Materialisme et empiriocriticisme,* tome 14 des ■«Oeuvres compldtes>, Ed. Sociales.

M ain D. M., *Introduction â la physique nucleaire,* P.U.F.

March Arthur, *La physique moderne* et ses *fonctions,* Gallimard.

Martin C h., N o e 1, *L'univers devoile,* Pion.

Nahmias Maurice E., *L'energie nucleaire,* Larousse. Orcel Jean, *Atomes et cristaux,* Ed. Sociales.

Planck Max, *Initiation ă la physique,* Gonthier. *Autobiogra- •phie scientifique,* Albin Michel.

Rouze Michel, *Robert Oppenheimer et la bombe atomique,* Seghers.

Tchakhotine Serge, *Le viol des foules par la propagande politique,* Gallimard.

Vassiliev N. et Stanioukovitch K., *L'univers des sept elements,* Ed. de la Paix, Moscou.

Weizsăcker Cari F., von, *Le monde vu par la physiqtu?,* Flammarion.

Lucrări colective

Histoire des sciences, Gallimard, coli. Pleiade.

Histoire generale des sciences (4 tomes), P.U.F.

La science contemporaine, Larousse.

Questions scientifiques, Physique, tome 1, 1952, Ed. de la Nou- velle critique.

Encyclopedie des sciences et des techniques, 3 volumes, Rombaldi. *La science contemporaine, 2* volumes, Larousse.

L'Encyclopedie frangaise, Larousse, distributeur-6diteur.
Tome I : L'outilage mentale.
Tome II : La physique.

Recherches internationales ă la lumiere du marxisme, Physique, n° 4, setpt.-oct. 1957.

Institut national de physique Solvay : Rapport et discussions du 5* *Conseil,* 1928.

139 Sciences. — „La pensee".

Tabla de materii

1
Personalitatea lui Heisenberg 5

2
Heisenberg contra nazismului 20

3
Fizica atomică modernă 34

4
în nucleul atomului 53

5
Fizică şi filozofie 82

Texte alese 99

Cîteva cugetări ale lui Werner Heisenberg 101
Interpretarea de la Copenhaga 104
Problema naturii 117
Lexic parţial 135
Principalele opere ale lui Werner

Heisenberg 137
Bibliografie generală (lucrări consultate) 138

*Dat la cules: 24.VI.1968. Bun de tipar: 24.IV.1969. 'Apărut: 1969. Tiraj: 3700+140 + 40 ex. legate. Eîrtie: scris I A. Format: 16/54 *84. Coli editoriale: 7,41. Coli tipar: 9, — . A. 1530/1968. Indice de clasificare zecimală:*

pentru bibliotecile mari: 530.1: pentru bibliotecile mici: 53.